T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK EKMEKTEN ÜRETİLEN BİYOETANOL KULLANAN OTTO MOTORUN PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİĞİ YÖNÜNDEN TERMOEKONOMİK İNCELENMESİ

Bahar SAYIN KUL

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ATIK EKMEKTEN ÜRETİLEN BİYOETANOL KULLANAN OTTO MOTORUN PERFORMANS, EMİSYON VE YANMA KARAKTERİSTİĞİ YÖNÜNDEN TERMOEKONOMİK İNCELENMESİ

Bahar SAYIN KUL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

2020, 146 Sayfa

Jüri
Danışman Prof.Dr. Murat CİNİVİZ
Prof. Dr. Hidayet OĞUZ
Doç. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK
Dr.Öğr. Üyesi Fatih AYDIN
Dr.Öğr. Üyesi İlker ÖRS

Bu tez çalışmasında, atık ekmek biyoetanolü-benzin karışımları (E5e, E10e, E15e, E85e, E100e) ve şeker pancarı biyoetanolü-benzin karışımları (E5, E10, E15, E85, E100) tek silindirli, dört zamanlı bir buji ateşlemeli motorda test edilmiştir. Motor testleri sıkıştırma oranı 7 ve ateşleme avansı -25 °KMA ve maksimum tork devri olan 2500 rpm'de farklı motor yüklerinde (2, 2.5, 3, 3.5, 4Nm) gerçekleştirilmiştir. Yakıt karışımları benzinle karşılaştırmalı biçimde yanma davranışı, motor performansı, egzoz emisyonları, termodinamik ve termoekonomik analizler açısından değerlendirilmiştir. Yanma analizi, biyoetanol ilaveli yakıtların genellikle benzine nazaran daha düşük silindir basınçları ve daha yüksek ısı salım hızlarına neden olduğunu göstermiştir. Termal verim maksimum değerlerini motorun 4 Nm yük altında E0, E100 ve E100e (sırasıyla %13.2, %17.1 ve %16.1) yakıtları ile çalıştırılması durumunda almıştır. Her iki biyoetanolün benzine ilavesinin egzoz emisyonları bakımından yüksek O_2, CO_2, NOx ve düşük CO, HC salımına neden olduğu görülmüştür. Şeker pancarı ve atık ekmek biyoetanolü ilaveli yakıtlar kendi aralarında değerlendirildiğinde, termodinamik açıdan hem kayıp akımlarının daha az olması hem de yakıt enerjisinin ve yakıt ekserjisinin fren gücüne dönüşme oranının fazla olması bakımından en optimum iki yakıtın E100 ve E100e olduğu tespit edilmiştir. E100 için benzine kıyasla %8.13 daha az olan yakıt maliyeti, E100e için %21.57 oranı ile belirgin şekilde artmıştr.

Anahtar Kelimeler: Atık ekmek, biyoetanol, egzoz emisyonları, motor performansı, termodinamik analiz, termoekonomik analiz, yanma

ABSTRACT

Ph. D THESIS

THERMO ECONOMIC INVESTIGATION OF AN OTTO ENGINE USING BİYOETHANOL PRODUCED FROM WASTE BREAD IN TERMS OF PERFORMANCE, EMISSIONS AND COMBUSTION CHARACTERISTICS

Bahar SAYIN KUL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

2020, 146 Pages

Jury
Advisor Prof. Dr. Murat CİNİVİZ
Prof. Dr. Hidayet OĞUZ
Assoc. Prof. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK
Asst.Prof.Dr. Fatih AYDIN
Asst.Prof.Dr. İlker ÖRS

In this thesis, waste bread bioethanol-gasoline blends (E5e, E10e, E15e, E85e, E100e) and sugar beet bioethanol-gasoline blends (E5, E10, E15, E85, E100) were tested in a single-cylinder, four-stroke spark ignition engine. Engine tests were carried out at different engine loads (2, 2.5, 3, 3.5, 4Nm) while the compression ratio was 7 and the ignition advance was -25 ° KMA and engine speed was 2500 rpm, corresponding to the maximum torque. Fuel blends were evaluated in terms of combustion behavior, engine performance, exhaust emissions, thermodynamic and thermoeconomic analysis in comparison with gasoline. Combustion analysis has shown that fuels with added bioethanol generally cause lower cylinder pressures and higher heat release rates than gasoline. Thermal efficiency has taken its maximum values when the engine is operated under 4 Nm load with E0, E100 and E100e (13.2%, 17.1% and 16.1% respectively). The addition of both bioethanol to gasoline has been shown to cause high O_2, CO_2, NOx and low CO, HC emissions in terms of exhaust emissions. Thermodynamically, it is determined that the most optimum fuels are E100 and E100e in terms of having less loss rates and high rate of conversion of fuel energy and exergy to brake power when sugar beet bioethanol and waste bread bioethanol supplemented fuels are evaluated among themselves. The fuel cost, which was 8.13% lower for E100 compared to gasoline, increased significantly with 21.57% for E100e.

Keywords: Biyoethanol, combustion, engine performance, exhaust emissions, thermodynamic analysis, thermoeconomic analysis, waste bread

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım esnasında fikir ve görüşleri ile beni yönlendiren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Murat CİNİVİZ'e, tez izleme jürilerim Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a, Doç. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK'e, çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Ü. İlker ÖRS'e, çalışmalarıma katkılarından dolayı Öğr. Gör. Savaş YELBEY'e, Arş. Gör. Eyüb CANLI'ya, Arş. Gör. Fehmi SEVİLMİŞ'e ve Teknisyen Eyüb UYSAL'a teşekkür ederim.

Finansal desteklerinden ötürü Selçuk Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinatörlüğü (Proje No: 103) ve Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No: 17301012)'ne teşekkür ederim.

Son olarak beni bugünlere getiren, yanımda olduklarını ve beni desteklediklerini daima hissettiren aileme ve tüm zorlukları birlikte göğüslediğimiz için eşim Halil İbrahim KUL'a teşekkür ederim.

Bahar SAYIN KUL
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİL DİZİNİ ..... **ix**

ÇİZELGE DİZİNİ ..... **xii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xiv**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Dünya'da ve Türkiye'de Biyoetanol 3
1.2. Dünya'da ve Türkiye'de Gıda Atığı/Atık Ekmek Potansiyeli 3
1.3. Biyoetanol Üretimi 11

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **19**

2.1. Biyoetanolün Atık Ekmek Kullanılarak Elde Edilmesi 19
2.2. Buji Ateşlemeli Motorlarda Biyoetanol Kullanımının Değerlendirilmesi 24
2.3. Termoekonomik Analiz 32

3. MATERYAL VE METOT **37**

3.1. Materyal 37
3.1.1. Taguchi Deney Tasarımı 37
3.1.2. Test Yakıtları 38
3.1.3. Motor test düzeneği 38
3.2. Metot 47
3.2.1. Taguchi Deney Tasarımı 47
3.2.2. Biyoetanol Üretimi 49
3.2.3. Test yakıtlarının hazırlanması 51
3.2.4. Motor testleri 52
3.2.5. Deney Düzeneğindeki Ekipmanların Ölçüm Prensipleri 53
3.2.6. Termoekonomik Analiz 58
3.2.7.Termodinamik Analiz 58
3.2.8. Ekonomik Analiz 62

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **65**

4.1. Biyoetanol Üretimi için Deney Tasarımı 65
4.2. Tam Yük Deneyleri 68
4.3. Kısmi Yük Deneyleri 70
4.4.1. Yanma Analizi Parametrelerinin Değişiminin İncelenmesi 70

4.4.2. Motor Performans Parametrelerinin Değişiminin İncelenmesi 86
4.4.3. Egzoz Emisyonlarının Değişiminin İncelenmesi..... 90
4.4.4. Termoekonomik Analiz Parametrelerinin Değişiminin İncelenmesi 98
4.4.5. Belirsizlik Analizi 113

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 114

5.1. Sonuçlar 114
5.1.1.Yanma Analizi Parametrelerinin Sonuçları 114
5.1.2. Motor Performansı Parametrelerinin Sonuçları 114
5.1.3. Egzoz Emisyonlarının Sonuçları 115
5.1.4. Termodinamik Analiz Sonuçları..... 116
5.1.5. Termoekonomik Analiz Sonuçları..... 118
5.2. Öneriler 119

KAYNAKLAR 121

ÖZGEÇMİŞ 130

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. 2017 yılı dünya birincil enerji tüketimi 1
Şekil 1.2. Taşımacılık sektörü enerji talebi 2
Şekil 1.3. Gıda geri kazanım hiyerarşisi 9
Şekil 1.4. Atık biyokütleden biyoetanol üretiminin genel akış şeması 13
Şekil 1.5. Nişastanın yapısı 15
Şekil 1.6.Enzimatik hidroliz genel akış şeması 16
Şekil 1.7. Nişastadan α-amilaz ve glukoamilaz ile glukoz üretimi 16
Şekil 3.1. Taguchi deney tasarımı akış şeması 37
Şekil 3.2. Deney numuneleri 38
Şekil 3.3. Test düzeneğinin şematik görünümü 39
Şekil 3.4. Test motoru 40
Şekil 3.5. Universal tahrik ve fren ünitesi 40
Şekil 3.6. Universal tahrik ve fren ünitesinin kontrol ve gösterge elemanları 41
Şekil 3.7. Modüler test standı, kontrol ve gösterge elemanları 41
Şekil 3.8. Egzoz emisyon ölçüm cihazı ve arayüzü 42
Şekil 3.9. Basınç sensörü ve konumu 43
Şekil 3.10. Amplifikatör ve gösterge elemanları 44
Şekil 3.11. Enkoder ve gösterge elemanları 44
Şekil 3.12. Dataloger 45
Şekil 3.13. Termokupl Dataloger ve yazılım arayüzü 45
Şekil 3.14. Gunt yazılımı arayüzü 46
Şekil 3.15. Febris yanma analizi yazılımı arayüzü 47
Şekil 3.16. Atık ekmekten biyoetanol üretim prosesi 51
Şekil 3.17. Yakıt hava karışımının ayarlama elemanları 53
Şekil 3.18. Hava tüketimi ölçüm elemanları 54
Şekil 3.19. Buji ateşlemeli motor ısı salımı karakteristiği 56
Şekil 3.20. İçten yanmalı motor için kontrol hacmi ve enerji akımları 59
Şekil 4.1. Yoğunluk verileri ve S/N ortalamarı 66
Şekil 4.2. Alt ısıl değer verileri ve S/N ortalamarı 66
Şekil 4.3. Kinematik viskozite verileri ve S/N ortalamarı 67
Şekil 4.4. Yoğunluk, alt ısıl değer ve kinematik viskozite için eşyükselti eğrileri 69
Şekil 4.5. E0 yakıtı için fren torkunun ve fren gücünün devir sayısı ile değişimi 70

Şekil 4.6. SI motor alev yayılımı ve yanma fazları 71
Şekil 4.7. 2 Nm'de farklı test yakıtları için silinir basıncının değişimi 73
Şekil 4.8. 2 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı 73
Şekil 4.9. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için silinir basıncının değişimi 73
Şekil 4.10. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı 74
Şekil 4.11. 3 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi 74
Şekil 4.12. 3 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı 74
Şekil 4.13. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi 75
Şekil 4.14. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı 75
Şekil 4.15. 4 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi 75
Şekil 4.16. 4 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı 76
Şekil 4.17. 2 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi 77
Şekil 4.18. 2 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı 77
Şekil 4.19. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi 78
Şekil 4.20. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı 78
Şekil 4.21. 3 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi 78
Şekil 4.22. 3 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı 79
Şekil 4.23. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi 79
Şekil 4.24. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı 79
Şekil 4.25. 4 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi 80
Şekil 4.26. 4 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı 80
Şekil 4.27. 2 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı 81
Şekil 4.28. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı 82

Şekil 4.29. 3 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı 82
Şekil 4.30. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı 82
Şekil 4.31. 4 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı 83
Şekil 4.32. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için CA10, CA50, CA90 ve °KMA karşılığı 83
Şekil 4.33. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için volumetrik verimin değişimi 86
Şekil 4.34. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için fren özgül yakıt tüketiminin değişimi 88
Şekil 4.35. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için termal verimin değişimi 89
Şekil 4.36. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için egzoz gaz sıcaklığının değişimi 90
Şekil 4.37. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için O2 emisyonunun değişimi 91
Şekil 4.38. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için CO emisyonunun değişimi 93
Şekil 4.39. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için CO_2 emisyonunun değişimi 94
Şekil 4.40. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için HC emisyonunun değişimi 96
Şekil 4.41. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için NOx emisyonunun değişimi 98
Şekil 4.42. 2 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı 99
Şekil 4.43. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı 99
Şekil 4.44. 3 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı 100
Şekil 4.45. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı 101
Şekil 4.46. 4 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı 101
Şekil 4.47. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için termal verimin değişimi 102
Şekil 4.48 2 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı 103
Şekil 4.49. 2.5 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı 104
Şekil 4.50. 3 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı 104
Şekil 4.51. 3.5 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı 105
Şekil 4.52. 4 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı 105
Şekil 4.53. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için ekserjik verimin değişimi 106
Şekil 4.54. 2 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı 109
Şekil 4.55. 2.5 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı 109
Şekil 4.56. 3 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı 110
Şekil 4.57. 3.5 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı 110
Şekil 4.58. 4 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı 111
Şekil 4.59. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için eksergonomik faktörün değişimi 112

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. Benzine ilave edilmesi beklenen tahmini etanol oranları 4
Çizelge 1.2. Benzine etanol ilavesi ile ilgili direktifler ve hedefler 5
Çizelge 1.3. Bazı ülkeler için gıda atıklarının belediye atıkları içindeki payı 6
Çizelge 1.4. Belediye atıkları 7
Çizelge 1.5. Bazı iller için belediye atık bileşenleri 7
Çizelge 1.6. Farklı ülkelere ait gıda atıklarının yıllık ortalama enerji içeriği 10
Çizelge 1.7. Bazı ekmek çeşitlerinin ve fırıncılık atıklarının bileşimi 14
Çizelge 2.1. Atık ekmek ve fırıncılık atıklarından biyoetanol üretimine dair çalışmalar 25
Çizelge 2.2. SI motorlarında farklı test koşullarında benzin-biyoetanol karışımlarının kullanımına dair çalışmalar 33
Çizelge 3.1. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri 38
Çizelge 3.2. Test motorunun teknik özellikleri 39
Çizelge 3.3. Universal tahrik ve fren ünitesinin teknik özellikleri 41
Çizelge 3.4. Modüler test standı elemanlarının ölçüm aralıkları 42
Çizelge 3.5. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri 42
Çizelge 3.6. Basınç sensörünün teknik özellikleri 43
Çizelge 3.7. Amplifikatörün teknik özellikleri 44
Çizelge 3.8. Enkoderin teknik özellikleri 44
Çizelge 3.9. Dataloger'ın teknik özellikleri 45
Çizelge 3.10. Termokupl data logger'ın teknik özellikleri 46
Çizelge 3.11. Taguchi ortagonal dizi seçim tablosu 48
Çizelge 3.12. Test parametreleri ve seviyeleri 50
Çizelge 3.13. Test parametreleri ve seviyeler için doldurulan L9 ortagonal 50
Çizelge 3.14. Test yakıtlarının içerikleri ve yakıt özellikleri 52
Çizelge 3.15. Referans çevre 62
Çizelge 4.1. Deney verileri ve her bir veri için S/N oranları 65
Çizelge 4.2. Yoğunluk için yanıt tabloları 65
Çizelge 4.3. Alt ısıl değer için yanıt tabloları 65
Çizelge 4.4. Kinematik viskozite için yanıt tablolar 66
Çizelge 4.5. Tahmini yoğunluk, alt ısıl değer ve kinematik viskozite değerleri 68
Çizelge 4.6. 2 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi 84

Çizelge 4.7. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi 84
Çizelge 4.8. 3 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi 85
Çizelge 4.9. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi 85
Çizelge 4.10. 4 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişim 85
Çizelge 4.11. Test yakıtlarının maliyetleri 108
Çizelge 4.12. Termoekonomik analiz için gerekli diğer veriler 108
Çizelge 4.13. Ölçü aletlerinin hassasiyetleri ve ölçülen büyüklüklerin belirsizlikleri 113

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ρ	: Yoğunluk, kg/m^3
λ	: Hava fazlalık katsayısı
τ	: Tork, Nm
η	: Verim, %
ηi	: İndike verim
ηt	: Termal verim
ηv	: Volumetrik verim
ηy	: Yanma verimi
ε	: Özgül ekserji, kW/kg
φ	: Ekserji faktörü
ϕ	: Ekivalans oran
θ	: Krank mili açısı, °KMA
ϕ	: Bakım faktörü
α	: Alfa
β	: Çap oranı
A_0	: Kesit alanı
ε_s	: Sıkıştırma oranı
%	: Yüzde

Kısaltmalar

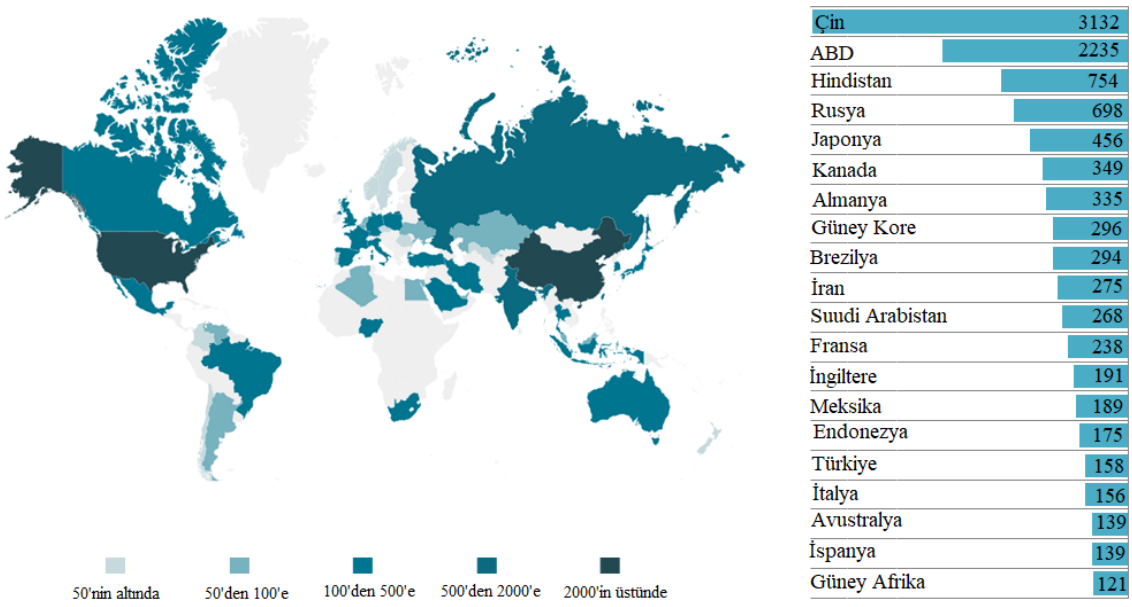
AA	: Ateşleme avansı
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Hava soğutmalı
BBB	: Bursa Büyükşehir Belediyesi
BM	: Birleşmiş Milletler
bmep	: Fren ortalama efektif basıncı
C_2H_5OH	: Etanol
$C_6H_{10}O_5$	: Nişasta
$C_6H_{12}O_6$	: Glukoz
°C	: Santigrat derece
C	: Karbon
c	: Silindir Sayısı
C:N	: Karbon Azot oranı
CA10	: Yakıtın %10'nun yandığı krank mili açısı
CA50	: Yakıtın %50'sinin yandığı krank mili açısı
CA90	: Yakıtın %90'ının yandığı krank mili açısı
C_d	: Düzeltme katsayısı
CCSSF	: Birleştirilmiş sürekli katı hal fermantasyonu
CD	: Yanma Süresi
CFR	: Sermaye geri kazanım faktörü
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
COV_{imep}	: İndike ortalama efektif basınç değişim katsayısı
DP	: Polimerizasyon derecesi

EGR : Egzoz gazı resirkülasyonu
IEA : Uluslararası Enerji Ajansı
E : Etanol
E0 : %100 benzin
E10 : %90 benzin %10 etanol
E15 : %85 benzin %15 etanol
E25 : %75 benzin %25 etanol
E35 : %65 benzin %35 etanol
E20 : %80 benzin %20 etanol
E30 : %70 benzin %30 etanol
E40 : %60 benzin %40 etanol
E50 : %50 benzin %50 etanol
E60 : %40 benzin %60 etanol
E100 : %100 etanol
EgAA : Egzoz subabı açılma avansı
EgKA : Egzoz subabı kapanma avansı
Eh : Sulu etanol
Eh10 : %90 benzin %10 sulu etanol
Eh22 : %78 benzin %22 sulu etanol
Eh30 : %70 benzin %30 sulu etanol
Eh80 : %20 benzin %80 sulu etanol
Eh100 : %100 sulu etanol
EmAA : Emme subabı açılma avansı
EmKA : Emme subabı kapanma avansı
EPA : Çevre Koruma Ajansı
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
FAO : Gıda ve Tarım Örgütü
föyt : Fren özgül yakıt tüketimi
g/mol : Gram/mol
gr : Gram
H_2 : Hidrojen
H_2O : Su
HC : Hidrokarbon
HRR : Isı salınım hızı
H_u : Alt ısıl değer
HYO : Hava yakıt oranı
IRENA : Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
imep : İndike ortalama efektif basınç
KBB : Konya Büyükşehir Belediyesi
KDV : Katma değer vergisi
kg : Kilogram
KMA : Krank mili açısı
kW : Kilowatt
m^3 : Metre küp
M_b : Fren torku
mak : Maksimum
MBT : Maksimum fren torku
MFB : Yanmış kütle oranı
min : Minimum
MON : Motor oktan sayısı

MTEP : Milyon ton eşdeğer petrol
MW : Mega Watt
n : Devir sayısı
N_2 : Azot
NaOH : Sodyum Hidroksit
NOx : Azot oksitler
O_2 : Oksijen
OECD : Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü
ÖTV : Özel tüketim vergisi
P_b : Fren gücü
P_c : Silindir basıncı
P_{eff} : Efektif basınç
P_i : Enjeksiyon basıncı
PAH : Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
Pmaks : Maksimum basınç
PJ : Petajoule
PM : Partikül madde
PN : Partikül sayısı
ppm : Milyonda bir partikül
RON : Araştırma oktan sayısı
S : Strok sayısı
S/N : Sinyal gürültü oranı
SHF : İki aşamalı ayrı hidroliz ve fermantasyon işlemi
SI : Buji ile ateşlemeli
SO_2 : Kükürt dioksit
SSCF : Eşzamanlı sakkarifikasyon ve kofermantasyon
SSF : Eşzamanlı sakkarifikasyon ve fermantasyonu
ÜÖN : Üst ölü nokta
ÜÖNö : Üst ölü noktadan önce
ÜÖNs : Üst ölü noktadan sonra
rpm : Birim dakikadaki dönme sayısı
T_c : Silindir sıcaklığı
T_{eg} : Egzoz sıcaklığı
$T_{h,d}$: Hava dolgusu sıcaklığı
T.C. : Türkiye Cumhuriyeti
TBMM : Türkiye Büyük Millet Meclisi
TL : Türk Lirası
TMOGM : Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü
TN : Toplam azot
USB : Evrensel seri veri yolu
USDA : ABD Tarım Bakanlığı Ekonomik Araştırma Servisi
v/v : Hacim oranı
VOC : Uçucu organik bileşikler
VS : Araç hızı
WC : Su soğutmalı
WOT : Tam gaz kelebeği açıklığı
WP : Tekerlek gücü
WWF : Dünya Doğayı Koruma Vakfı

1. GİRİŞ

Endüstrinin ve nüfusun hızla büyümesine bağlı olarak her geçen yıl katlanarak artan ve 2017 yılında 14 050 MTEP değerine ulaşan dünya enerji talebinin büyük bir kısmı (%70'den fazlası) fosil kaynaklarla karşılanmaktadır (IEA, 2017; Mohd Azhar ve ark., 2017). World Energy Istatistics (2018)'e göre ülkeler bazında dünya birincil enerji tüketimini gösteren Şekil 1.1'de görüldüğü gibi Türkiye 158 MTEP enerji tüketimi ile 16. sırada yer almaktadır. Nihai enerji kaynaklarının tüketim dağılımına bakıldığında en yüksek tüketim oranı %38 ile petrole aitken, bu sırayı %27 ile kömür ve %23 ile doğalgaz takip etmektedir (Koçtürk, 2011). Fosil yakıt rezervlerinin tükenme sürelerini hesaplamak için oluşturulan ekonometrik modele göre petrolün 35 yıllık, kömürün ise 107 yıllık rezervleri kalmıştır (Singhve Singh, 2012). Petrol ihtiyacının %90'ından fazlasını ithalat yoluyla karşılayan Türkiye için ise mevcut rezervlerin %72.8'inin tükendiği ve yakın gelecekte petrol ithalat oranının %99'a ulaşabileceği bildirilmektedir (Melikoglu, 2014).

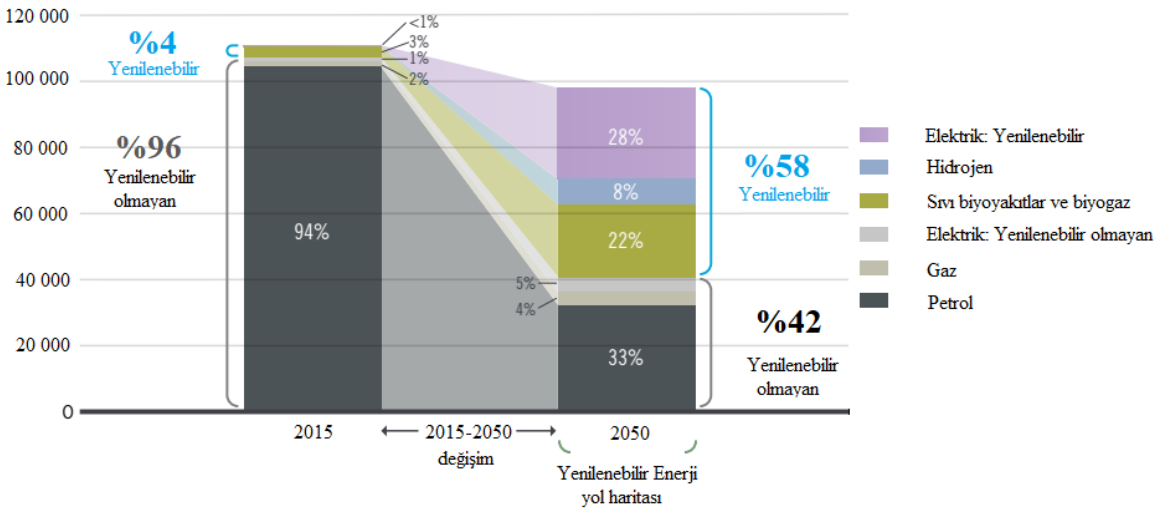


Şekil 1.1. 2017 yılı dünya birincil enerji tüketimi, MTEP (World Energy Istatistics, 2018)

Petrol kökenli yakıtlarla ilgili bir diğer endişe verici konu, neden oldukları emisyonların çevreye verdiği zarardır. Birçok ülkede özellikle CO_2 emisyonu ile ilgili gün geçtikçe sıkılaşan bir dizi emisyon standartı söz konusudur. Avrupa'da 2020 yılı itibariyle 95 g/km CO_2 emisyon salımı yapan hafif ticari araç sayısının artırılması hedeflenmektedir. ABD'de, 2017-2021 yılları arasındaki CO_2 emisyonundaki yıllık ortalama azalma %3.5 iken, 2022-2025 yılları arasında bu oranın %5 olması

beklenmektedir (Wang ve ark., 2017). Bu nedenle fosil yakıtların neden olduğu CO_2 birikimi, sera gazı, hava kirliliği, küresel ısınma vb. çevresel etkileri minimize edecek temiz, yenilenebilir ve sürdürülebilir alternatif enerji kaynaklarının arayışları artmaktadır. (WWF, 2011)'ye göre ekonomik gelişmişlik açısından ön koşul olan enerji arzının önündeki engelleri aşabilmek için tek seçenek yenilenebilir enerjidir.

Dünya enerji talebinin %27'sini tüketen, sera gazı emisyonlarının %14'ünden sorumlu tutulan taşımacılık sektörünün enerji ihtiyacını karşılamak için de fosil yakıtlarla rekabet edebilecek kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır (World Energy Council, 2016). 2015 yılı verilerine göre taşımacılık sektörü, enerji talebinin %96'sını fosil kökenli yakıtlardan karşılamaktadır. Şekil 1.2'ye göre taşımacılık sektörünün enerji talebinin %4'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır ve bu kaynaklar arasında hakimiyet biyoyakıtlarındır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı tarafından hazırlanan yol haritasına göre yenilenebilir enerji kaynaklarının payının 2050 yılında %22'ye çıkarılması, böylelikle mevcut CO_2 emisyonlarında %70 azalma sağlanması hedeflenmektedir (IRENA, 2018).



Şekil 1.2. Taşımacılık sektörü enerji talebi, PJ/yıl (IRENA, 2018)

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde oldukça büyük bir potansiyele sahip olan biyoyakıtlar taşımacılık sektörünün petrole bağımlılığını azaltmak için bir seçenek olarak görülmektedir (Najafi ve ark., 2009). Bu seçeneklerden biri, biyoyakıtlar içerisinde en yaygın üretime ve kullanıma sahip olan biyoetanoldür (Bayrakçı, 2009).

Takip eden alt başlıklarda biyoetanolün motor yakıtı olarak kullanımı ele alınarak, biyoetanol üretimi detaylı biçimde sunulmuştur.

1.1. Dünya'da ve Türkiye'de Biyoetanol

Biyoetanolün motor yakıtı olarak ilk kullanımı, 1800'lü yıllara dayanmakta, o yıllardan bu yana biyoetanole ilgi artarak devam etmektedir. Birçok Avrupa ülkesinde, başta vergi ve yardım teşvikleri olmak üzere, bazı destek politikaları ve yasal yükümlülükler nedeniyle biyoetanol benzine ilave edilerek kullanılmaktadır. Çizelge 1.1'de çeşitli direktifler/hedefler doğrultusunda benzine etanol ilavesinin yıllara göre değişimi verilmiştir. Brezilya'da 2016 yılı itibariyle %27.5 oranında etanolün benzinle harmanlanması zorunludur. ABD'de mısıra dayalı biyoetanol üretimi daha yaygın olup, birkaç eyalette etanol benzine %10 ilave edilerek kullanılmaktadır. Etanol karışımları kullanan ülkeler için diğer örnekler Avustralya, Çin, Kolombiya, Peru (%10) ve Paraguay (%7)'dır (Nair ve ark., 2017b).

Türkiye'nin tüm OECD ülkeleri arasında en yüksek benzin fiyatına sahip ülke olması, benzine ikame en uygun yakıt olan biyoetanole olan talebin artmasına neden olmaktadır (OECD, 2013). EPDK tarafından en son yürürlüğe giren ve 7 Temmuz 2012 tarihli 28346 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan kanuna göre Türkiye'de pompadan satılan benzinin 1.1.2014 tarihinden itibaren en az %3 (v/v) oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanol içermesi zorunludur (EPDK, 2012). AB ülkelerinde biyoyakıt kullanım şartı söz konusu olup minimum biyoetanol ilavesinin 2030 yılında %25 olması beklenmektedir (Demirbas, 2008). Çizelge 1.2'de Türkiye'nin AB üyeliğine adaylığı göz önüne alınarak Melikoglu (2014) tarafından hesaplanan tahmini biyoetanol talebi ve benzine harmanlanması beklenen etanol oranları verilmiştir. 2009'da yayınlanan Yenilenebilir Enerji Yönergesi'ne göre AB'ye üye olması durumunda, Türkiye'den, AB'nin 2020 yılında ulaştırmada yenilenebilir enerji payının %10 olması zorunlu hedefini gerçekleştirmesi beklenecektir (Directive, 2009). Tüm bu koşullar biyoetanol üretimine ve kullanımına ivme kazandırmaktadır.

1.2. Dünya'da ve Türkiye'de Gıda Atığı/Atık Ekmek Potansiyeli

Belediye atıkları evsel, ticari ve inşaat faaliyetlerinden ötürü oluşan ve belediyelerce toplanıp işlenen atıklar olarak tanımlanır (Karak ve ark., 2012). 2000-2016 yılları arasında birçok ülke için kişi başına düşen belediye atık miktarları Çizelge 1.3'de kilogram cinsinden verilmiştir. Bu çizelgeye göre, yıllık ortalamalar baz alındığında en fazla belediye atığı oluşturan ülkelerin ilk üçü sırasıyla ABD, Danimarka ve İsviçre'dir. Bu sıralamada Brezilya, Kolombiya ve Çin ise en altta yer almaktadır.

Çizelge 1.1. Benzine etanol ilavesi ile ilgili direktifler ve hedefler (USDA Economic Research Service, 2017)

Kıta/Ülke	Notlar	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Brezilya	Susuz karışım oranı	%25	%25	%20-25	%18	%18	%18-25	%25-27.5	%27.5	%27.50
AB	Yenilenebilirin Enerji Yönergesi; yalnızca %7'si gıda-tahıl bazlı biyoyakıtlardan oluşması şartıyla 2020'de %10'luk yenilenebilir enerji kullanımı hedefi									
BM	Milyar galon	9	10.5	12	12.6	13.2	13.8	13.6	14.1	14.5
Amerika Kıtası										
Arjantin				%5	%5	%5	%5	%5-10	%10	%12
Kanada	Bazı eyaletler daha erken başlamıştır			%5	%5	%5	%5	%5	%5	%5
Kolombiya	Eyaletlere göre değişen %8-10	%8-10	%8-10	%8-10	%8-10	%8-10	%8-10	%8	%8	%8
Kostarika		%7	%7	%7	%7	%7	%7	%7	%7	%7
Ekvador									%10	%10
Jamaika					%10	%10	%10	%10	%10	%10
Meksika	Sadece kırsal alanlara uygulanır									%5.8
Panama	Program 2014'te askıya alındı						%2	%5		
Paraguay		%20	%24-25	%24-25	%24-25	%24-25	%24-25	%25	%25	%25
Peru				%7.8	%7.8	%7.8	%7.8	%7.8	%7.8	%7.8
Asya-Pasifik										
Avustralya				Yeni Güney Galler'de %7	Queensland'da 2%					
Hindistan		%5	%5	%5	%5	%5	%5	%5	%5	%5
Endonezya		%3	%3	%3	%3	%3	%3	%3	%3	%3
Filipinler			%5	%7	%10	%10	%10	%10	%10	%10
Tayland	Üretim hedefi %'ye dönüştürüldü									%9
Vietnam									%5	%5
Avrupa										
Norveç				%3.5	%3.5	%3.5	%3.5	%3.5	%3.5-5.5	%5.5
Türkiye							%2	%3	%3	%3
Ukrayna								%5	%5	%5
Afrika										
Angola							%10	%10	%10	%10
Etiyopya				%5	%5-10	%10	%10	%10	%10	%10
Malavi									%10	%10
Mozambik									%10	%10
Güney Afrika									%2	%2
Sudan						%5	%5	%5	%5	%5
Zimbabve							%5-15	%5-15	%5-15	%5-15

Çizelge 1.2. Benzine ilave edilmesi beklenen tahmini etanol oranları (Melikoglu, 2014)

Yıl		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Tahmini biyoetanol talebi (milyon m^3)	Min.	0.051	0.076	0.100	0.124	0.148	0.171	0.194	0.217	0.239	0.262	0.284
	Mak.	0.415	0.222	0.302	0.385	0.471	0.560	0.652	0.746	0.844	0.945	1.049
Benzinde hacimce etanol oranı (%)		2*	3*	4	5	6	7	8	9	10	11	12

*: EPDK yükümlülükleri

Dünya nüfusunun artması, kırsal alanlardan kentlere göçün artması, ülke ekonomilerinin gelişmesi, yaşam standartlarının ve refah seviyelerinin artması belediye atıklarının üretiminde küresel anlamda artışlar meydana getirmektedir. Üretim oranları farklılık göstermekle birlikte belediye atıkları hemen hemen her sosyo-ekonomik grupta oluşmaktadır. Gelişmiş ülkeler tarafından ortalama olarak yılda kişi başına 521.95-759.2 kg belediye atığı üretilirken, gelişmekte olan ülkelerde bu miktar yılda kişi başına 109.5-525.6 kg'dır (Karak ve ark., 2012).

Gıda atıklarının belediye atıkları içindeki payını sunan Çizelge 1.4 incelendiğinde, gıda atıklarının belediye atıklarının ortalama %21-33'ünü oluşturduğu görülmektedir. RedCorn ve ark. (2018) tarafından, ABD için bu oranın %15 olduğu bildirilmektedir. Çizelge 1.3'den hareketle, 17 yıllık ortalamalara göre, belediye atığı üretiminde, Türkiye'nin 15. sırada olduğu söylenebilir. Türkiye'de belediye atıkları içerisindeki gıda atığının oranı %28 ile oldukça yüksektir. Türkiye genelinde bazı illerin belediye atıklarının bileşenlerini veren Çizelge 1.5'den de doğrulanacağı üzere gıda atıklarını da içine alan organik atıklar belediye atıkları içinde oldukça önemli bir paya sahiptir.

Zhou ve ark. (2014)'na göre belediye atıkları, genel olarak gıda atığı, odun atığı, kâğıt, tekstil, plastik ve kauçuk olmak üzere altı gruba ayrılmaktadır. Belediye atıklarının önemli bir bölümünü oluşturan gıda atıkları genel olarak tahıllar, kökler, yumrular, yağlı tohumlar, bakliyatlar, meyve ve sebzeler, et, deniz ürünleri, süt, yumurta gibi her türlü yiyeceği içermektedir (Pleissnerve Lin, 2013).

FAO'ya göre "gıda miktarında veya kalitesinde azalma" olarak tanımlanan gıda atığı, gıda kaybının bir parçasıdır ve gıda tedarik zincirinin tamamında insan tüketimine uygun olduğu halde tükenmediği veya bozulduğu için yok edilen veya maksadı dışında kullanılan gıdaları temsil eder. Her yıl insan tüketimi için üretilen gıdanın yaklaşık üçte biri, yani maddi karşılığı 1 trilyon dolara denk gelen 1.3 milyon ton gıda israf edilmektedir (FAO, 2014). Hong Kong'da kişi başına günlük gıda atığı miktarı 0.45 kg, Singapur, Güney Kore ve Tayvan'da sırasıyla 0.30 kg, 0.35 kg ve 0.27 kg'dır (Zhang ve ark., 2013).

Çizelge 1.3. Belediye atıkları, kilogram/kişi (OECD, 2018)

Ülke	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Avustralya	692.3	-	-	-	-	-	-	611.0	610.4	609.8	611.0	598.9	584.7	571.4	558.5	560.7	-
Avusturya	535.5	532.1	564.1	563.5	570.4	573.3	595.4	595.7	599.3	587.9	559.0	568.2	573.3	571.8	559.8	557.2	565.7
Belçika	469.8	465.4	480.6	463.0	482.7	479.0	481.7	490.1	476.3	463.8	454.6	457.2	446.1	437.9	425.5	411.8	418.8
Brezilya	328.4	313.2	313.8	315.6	320.5	321.8	-	269.2	-	271.9	269.3	266.8	288.7	-	-	-	-
Şili	296.2	292.3	297.4	304.0	310.8	316.7	325.4	333.1	336.6	343.4	349.3	358.1	-	-	411.2	416.7	-
Çin	92.1	104.3	105.1	113.7	118.0	117.9	111.7	113.8	114.8	116.4	116.2	119.9	124.2	-	-		-
Kolombiya	-	-	-	125.5	143.4	174.8	172.9	207.1	251.1	197.7	210.9	193.4	-	-	-	232.0	-
Çek Cumhuriyeti	333.7	272.4	277.5	279.0	277.5	288.0	295.1	292.1	304.7	315.6	316.4	317.7	305.4	304.7	307.6	314.7	337.4
Danimarka	663.9	656.8	664.1	671.6	695.4	735.9	738.6	788.5	829.4	761.1	770.0	779.0	788.0	787.0	785.7	788.4	779.1
Estonya	452.4	365.4	400.1	412.8	444.6	433.1	397.2	447.9	391.1	338.4	304.8	300.4	280.0	292.3	356.2	359.3	376.7
Finlandiya	501.2	463.8	457.4	464.5	468.0	476.5	492.7	504.9	520.3	479.5	469.5	504.5	505.8	493.2	481.7	499.5	503.0
Fransa	509.7	522.7	527.7	504.1	517.9	529.5	536.2	543.0	541.0	534.7	533.4	533.5	526.4	519.3	519.3	519.3	512.5
Almanya	648.1	638.7	646.6	607.5	592.7	570.0	569.4	588.7	596.2	598.6	608.7	620.7	613.8	610.0	627.1	631.8	630.3
Yunanistan	399.1	407.6	413.7	418.9	424.3	429.4	434.5	439.5	444.6	450.4	516.9	489.0	480.1	466.7	471.8	470.4	478.7
Macaristan	445.4	451.5	456.9	463.4	453.9	460.6	468.5	458.3	455.7	433.0	406.2	384.8	404.1	379.8	386.7	379.4	381.5
İzlanda	463.6	470.1	480.1	486.2	505.0	518.7	570.5	570.1	669.1	417.6	480.8	488.5	503.8	510.7	532.8	589.3	661.4
İrlanda	592.1	691.7	684.2	720.5	726.8	721.7	786.5	772.5	718.2	646.4	615.1	605.5	575.6	-	558.9	-	-
İsrail	659.8	585.8	617.9	605.9	614.9	618.8	625.7	621.7	624.7	626.2	622.6	627.0	628.3	627.4	629.6	634.0	646.2
İtalya	505.4	511.4	516.7	516.5	532.5	538.5	550.4	548.5	545.5	538.3	543.1	525.2	502.1	495.6	497.6	496.2	506.8
Japonya	429.9	428.1	423.8	423.8	416.3	410.8	405.1	395.4	374.2	359.8	352.8	353.5	352.2	349.7	345.8	343.7	-
Kore	357.7	371.0	379.4	383.7	376.3	362.7	364.6	374.5	386.2	376.3	362.1	359.1	358.0	354.5	361.6	369.7	-
Letonya	269.3	302.3	340.0	301.4	316.1	317.9	341.5	391.6	346.2	351.0	321.0	344.4	318.2	345.0	360.1	400.5	407.2
Lüksemburg	654.1	647.9	656.5	685.0	688.1	683.1	693.0	702.2	702.3	681.4	677.8	664.2	650.1	614.5	625.8	610.4	621.2
Meksika	302.1	305.5	308.3	311.6	323.4	326.4	328.2	329.6	330.8	331.8	341.5	344.8	348.5	-	-	-	344.2
Hollanda	598.3	596.2	601.1	586.6	598.4	596.9	593.7	601.1	595.6	585.7	568.5	566.4	548.2	525.0	526.6	523.4	520.9
Yeni Zelanda	-	-	762.5	764.5	780.8	-	754.0	-	-	-	579.4	568.5	562.7	594.1	641.8	698.0	730.6
Norveç	618.5	363.8	395.5	405.8	418.0	429.1	462.6	494.8	492.0	474.8	469.7	485.7	477.3	495.9	423.2	420.6	751.0
OECD-Avrupa	522.7	519.4	525.1	514.9	511.2	515.0	517.5	519.9	512.0	506.2	500.9	496.7	486.4	480.2	480.4	482.2	490.4
Polonya	317.1	288.4	273.1	258.2	254.2	317.2	319.1	320.0	318.2	314.5	314.0	316.5	315.4	294.8	269.8	283.9	304.9
Portekiz	437.6	432.8	440.0	447.5	443.1	449.1	462.1	467.3	513.7	515.6	512.3	487.3	450.4	436.7	449.9	-	-
Rusya	354.0	350.5	372.0	380.9	401.4	401.7	424.5	439.2	451.5	467.3	483.8	483.0	561.7	-	-	-	-
Slovak Cumhuriyeti	316.1	-	268.3	279.9	259.3	271.9	282.3	292.5	312.2	306.3	318.1	310.3	305.8	303.2	319.0	328.0	347.1
Slovenya	513.0	479.1	408.4	419.3	486.7	495.3	517.3	526.5	540.7	525.4	490.9	415.0	361.1	413.0	430.6	446.3	463.5
İspanya	604.6	600.0	628.9	639.3	593.9	583.1	586.0	576.2	550.4	540.2	508.1	483.3	467.3	453.6	447.9	456.0	444.1
İsveç	427.1	439.1	465.1	464.2	459.9	476.4	488.8	484.8	482.3	468.8	438.2	448.6	449.1	449.9	438.2	448.3	446.5
İsviçre	660.1	665.6	681.4	674.2	666.9	666.6	712.4	722.8	739.3	705.8	710.5	690.8	694.3	701.9	729.8	724.8	720.8
Türkiye	484.1	483.4	475.9	470.3	443.8	461.7	437.5	436.3	403.9	423.3	411.1	420.4	412.8	408.0	405.4	399.7	424.6
Birleşik Krallık	576.0	590.8	598.7	592.1	603.2	582.6	583.5	566.3	538.4	518.3	504.8	486.8	473.4	477.9	478.8	481.0	481.6
ABD	783.2	766.9	774.1	770.8	788.0	779.9	783.1	774.1	755.5	725.9	737.9	732.6	729.1	733.2	738.0	-	-

Çizelge 1.4. Bazı ülkeler için gıda atıklarının belediye atıkları içindeki payı (Salihoglu ve ark., 2018)

Ülke	Gıda atıklarının belediye atıkları içindeki payı (%)
Avusturya	25.3
Finlandiya	25
Fransa	23
Hırvatistan	24
Lüksemburg	24.8
Hollanda	26
İsveç	33
Slovenya	21
Türkiye	28

Çizelge 1.5. Bazı iller için belediye atık bileşenleri (BBB, 2015; KBB, 2018)

Atık Bileşenleri	İller						
	Konya (2017)	Bursa (2014)	Erzurum (2012)	Trabzon-Rize (2012)	İstanbul (2010)	Ortalama (%)	Standart Sapma
Kâğıt-Karton	8.79	6.19	6.80	8.95	11.05	8.36	1.93
Cam	4.21	2.90	2.96	3.65	3.72	3.49	0.55
Plastikler	13.67	2.15	1.99	2.98	2.28	4.61	5.08
Metaller	1.00	0.78	1.31	1.60	1.10	1.16	0.31
Organik Atık	50.19	52.15	56.94	50.12	51.71	52.22	2.79
Tehlikeli Atıklar	0.17	0.40	0.93	0.68	0.31	0.50	0.31
Kompozit	-	0.52	0.61	0.44	0.66	0.56	0.10
Tekstil	-	4.79	3.60	5.18	5.74	4.83	0.91
Diğer yanabilen	8.02	8.96	7.18	6.83	6.15	7.43	1.09
Diğer yanmayan	7.83	6.20	3.00	1.55	1.25	3.97	2.92
Nem	-	58.50	40.20	50.60	43.86	48.29	8.06
Üst Kalorifik Değer (kcal/kg)	-	4141.30	4029.00	4004.70	3945.00	4030.00	82.17
Alt Kalorifik Değer (kcal/kg)	-	1450.00	2183.00	1682.40	1968.00	1820.85	321.20

ABD'de gıda atığı sorununun 2012 yılı için 197.8 milyar dolarlık bir kayba neden olduğu bildirilmektedir (Sun ve ark., 2014). Güney Kore'de günlük 12977 ton israfla gıda atıkları, belediye katı atıklarının %38.5'ini oluşturmaktadır (Kimve Shin, 2008). Ayrıca İngiltere'de gıda atığının, 2013 yılı itibariyle 14 milyon tonu aştığı bildirilmektedir (Thi ve ark., 2015).

Gelişmiş ülkelerde üretilen en büyük üç gıda atığı et, meyve-sebze ve unlu mamuller olup, unlu mamullerin çoğunluğu ekmekten oluşmaktadır (Melikogluve Webb, 2013). Geçmişi 4000 yıl öncesine dayanan ekmek, insanoğlunun en eski gıda maddelerinden biridir (Dewettinck ve ark., 2008). Ekmek birçok Asya ve Avrupa ülkesinde en çok israf edilen gıda maddelerinin başında gelmektedir (Han ve ark., 2016b). Fırınlama teknolojisi, pişirme sırasında kullanılan unun içeriği, depolama ve dağıtım sistemindeki eksiklikler ekmek israfının temel nedenlerini oluşturmaktadır. Çin'de fırıncılık ürünlerinin israfının yıllık 1.3 milyon ton olduğu rapor edilmektedir (Han ve ark., 2016a). İngiltere'de ise yıllık ekmek üretiminin yaklaşık %15'i fırıncılık atığı olarak israf edilmektedir (Melikogluve Webb, 2013). Melikogluve Webb (2013), küresel ekmek

üretiminin 100 milyon tonu aştığını ileri sürmektedirler. Ekmeğin, israf edilme oranının, üretiminin yaklaşık %7-10'u kadar olduğu dikkate alındığında, ekonomik olarak ciddi bir kaybın söz konusu olduğu açıktır (Pietrzakve Kawa-Rygielska, 2015a).

Türkiye'de 2012 yılı için tüketilen ekmek miktarı 8.7 milyon tondur. Adet cinsinden ifade etmek gerekirse, bir ekmeğin ağırlıkça 250 gr olduğu varsayımı ile Türkiye ekonomisine yıllık 1.5 milyar TL yük getiren ekmek israfının 6 milyon/gün veya 2 milyar/yıl olduğu bildirilmektedir (TMOGM, 2013).

Gıda atıkları çeşitli çevre ve sağlık sorunlarının yanı sıra ciddi bir gıda ve enerji potansiyeli kaybıyla ekonomik sorunlara da neden olmaktadır. Gıda atıklarının yönetimi, yüksek nem içeriğine sahip olma (yaklaşık %74-90) ve kolay çürüyebilme özellikleri nedeniyle oldukça zordur (Zhang ve ark., 2007; Zhangve Jahng, 2012). Gıda atıklarının yönetimi EPA (2014) tarafından tanımlanan ve Şekil 1.3'de verilen ters bir üçgenle temsil edilen bir hiyerarşiye göre yapılmaktadır. Bu hiyerarşiye göre atık yönetimi uygulamalarının en çok tercih edilenden en az tercih edilene doğru sıralaması şu şekildedir: Gıda atıklarının oluşumunun önlenmesi, aç insanları beslemek için gıdaların geri kazanımı, gıdaların hayvanları beslemek için kullanımı, endüstriyel kullanımlar, kompostlama, depolama/yakma (Girotto ve ark., 2015).

Bu hiyerarşiye göre atılması gereken ilk ve en gerçekçi adım gıda israfının ve atık oluşumunun önüne geçmektir. Çünkü israf edilen gıdaların yetiştirilmesi için harcanan enerji, gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarının yaklaşık %10'undan sorumlu tutulmaktadır (Sun ve ark., 2014). Atık oluşumunun kaynağında önlenmesi, Türkiye atık yönetim stratejisinin de en önemli ilkelerinden birisidir (BBB, 2015). İkinci sırada yer alan, aç insanları beslemek için gıda atıklarının geri kazanımı adımı, küresel gıda atığı miktarının dünyadaki tüm aç insanları beslemek için gerekli olandan fazla olması sebebiyle oldukça ironiktir (Melikoglu ve ark., 2013b). Küresel boyutta gıda atığının sadece dörtte birinin israftan kurtarılmasıyla, yetersiz beslenen 870 milyon insanın gıda ihtiyacı karşılanabilir (FAO, 2013).

Gıda atıklarının hayvanları beslemek için kullanılması, gıda atıklarının toksik maddelerle kontamine olması halinde hem hayvan sağlığı açısından hem de toksik maddelerin besin zinciri yoluyla hayvanlardan insanlara geçme riski nedeniyle insanlar açısından riskli bir uygulamadır. Atıkların metan, biyogaz, hidrojen, elektrik üretimi gibi endüstriyel uygulamalar için kullanılması enerji geri kazanımı bakımından oldukça önemlidir. Örneğin, Türkiye'de belediye atıklarından biyogaz üretim potansiyeli %11'dir.



Şekil 1.3. Gıda geri kazanım hiyerarşisi (EPA, 2014)

Bir diğer uygulama olan kompostlama organik maddeleri kompost denilen toprak gibi bir ürüne dönüştüren biyolojik bir süreçtir. Gıda atıkları, sahip oldukları yüksek organik içeriği ile kompostlama için ideal hammadde olma potansiyeline sahiptir (Salihoglu ve ark., 2018). Diğer tüm biyolojik olarak bozunur atıklar gibi gıda atığı da işlem koşulları sağlandığı sürece kompostlama için kullanılabilir. Atığın hacmini ve kütlesini %40'a kadar düşürebilen bu uygulama için ideal koşullar, atığın karbon-azot (C:N) oranının 25:1-35:1 aralığında olduğu kompozisyondur, aksi halde mikrobiyal aktivite söz konusu olacağından rahatsız edici kokular oluşabilir (Melikoglu ve ark., 2013b). %50-65 nem içeriği, yeterli oksijen kaynağı, küçük parçacık boyutları ve yeterli boşluk alanı ideal koşulların oluşması için sağlanması gereken diğer parametrelerdir. Bir diğer atık yönetim seçeneği olan depolama, ton gıda atığı başına atmosfer basıncında yaklaşık 125 m^3 çöp gazı (%60-65 metan ve %35-40 CO_2 içeren çöp gazı 100 yılda CO_2'ye kıyasla 21 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahiptir) üretilebilmesine neden olan bir uygulamadır (Melikoglu ve ark., 2013b). Ayrıca bu uygulama sırasında meydana gelebilecek toksik sızıntılar nedeniyle yer altı sularını kirletme riski (her bir ton atık için 0.17-0.25 m^3 sızıntı suyu oluşumu) söz konusudur (Melikoglu ve ark., 2013b; Zhou ve ark., 2014). Gıda atıkları depolama alanlarına atıldığında olumsuz çevresel etkilerin yanı sıra gıda maddelerinin sahip olduğu enerji içeriği de israf edilir. Melikoglu ve ark. (2013b), gıda atıklarının enerji içeriklerini değerlendirdikleri çalışmada katı atık depolama alanlarına atılması durumunda gıda atıklarının enerji kaybı miktarlarını tahmin etmişlerdir. Bu çalışmadan alınan Çizelge 1.6'da bazı ülkeler için gıda atıklarının enerji içeriği tahminleri rapor edilmiştir. Bu çizelgeye göre, ABD gıda endüstrisinin yıllık enerji

tüketiminin (1160 PJ) %42.6'sı oranında enerji, Japonya'da ise 323.2 PJ'lük hidroelektrik enerji üretiminin %36.8'ine denk enerji katı atık depolama alanlarına terk edilmektedir. Birleşik Krallık'ta 62.8 PJ enerji içeriğine sahip atık (yenilenebilir enerji talebinden fazlası) yine katı atık depolama alanlarında israf edilmektedir.

Çizelge 1.6. Farklı ülkelere ait gıda atıklarının yıllık ortalama enerji içeriği (Melikoglu ve ark., 2013b)

Ülke	Hesaplanan ortalama enerji içeriği, PJ, 2010
ABD	494.7
Japonya	119.0
Tayvan	103.3
Birleşik Krallık	68.9
Kore	26.9
Singapur	3.6

2018 yılı Kasım ayı itibariyle, Türkiye'deki katı atık depolama tesisi sayısı 88'e ulaşmıştır. Bu atık depolama tesislerinin 38'inde 194 MW kapasite ile elektrik enerjisi üretilmektedir (TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu, 2019). Belediye katı atıklarının %35'inin geri kazanım, %65'inin ise katı atık depolama alanlarında bertaraf edilmesi Türkiye'nin 2023 ulusal atık yönetimi hedeflerinden biridir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Yakma, bir miktar enerji dönüşümü sağlasa da bu dönüşüm organik atıkların düşük ısıtma değerleri ile sınırlıdır (Girotto ve ark., 2015). Gıda atıklarının yakılması sırasında azot oksitler, kükürt dioksit, cıva bileşikleri oluşabilirken (Melikoglu ve ark., 2013b), gıda atıklarının düşük nem içeriğine ve yüksek kalorifik değere sahip diğer atıklarla birlikte yanması durumunda çevreye dioksinlerin salımı söz konusu olabilir (Uçkun Kiran ve ark., 2014). Bu uygulama ile ilgili diğer bir sınırlama, yakma tesislerinin yalnızca ısıl enerji üretmesi ve bu enerjinin tesisten çok uzakta kullanılamamasıdır (Menardove Balsari, 2012). Avrupa Birliği'ne üye 27 ülke genelinde üretilen belediye atıklarının %28'i depolama alanlarına gönderilirken, %27'si yakılmak, %16'sı kompostlanmak, %28'si geri dönüşüme tabi tutulmak suretiyle işlem görmüştür. Türkiye'de ise 2014 yılında üretilen belediye atıklarının %64'ü depolama alanlarına atılmış, %0.5'i kompostlanmış, %0.5'i Türkiye'de mevcut 46 yakma tesisinde (TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu, 2019) yakılarak veya göl/nehirlere atılmak suretiyle imha edilmiştir (Salihoglu ve ark., 2018).

Atıkların kompozisyonları, atıkları sınıflandırmak ve onlar için en uygun atık

yönetim seçeneğini belirlemek için oldukça önemlidir. Atıkların uygun şekilde bertaraf edilmemesi, her bir atık yönetimi seçeneği için iklim, su ve toprak gibi ciddi çevresel sorunlar yaratmaktadır. Her bir atık yönetim uygulaması her ne kadar atık hacmini küçültmeye yönelik olsa da beraberinde getirdiği olumsuzluklar gıda atıklarını işleme ile ilgili yeni uygulamaların geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Atığı hammadde olarak kullanan, âtıl olduğu için değersiz görülen fakat yüksek nişasta/protein içeriği, enerji potansiyeli, biyolojik bozunabilirlik ve tükenmezlik gibi özellikleri bakımından oldukça değerli olan gıda atıklarının katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi için yeni uygulamalara ihtiyaç vardır (Lee ve ark., 2010). Enerji kaynaklarının tükenme tehlikesi altında olması ve tarımsal ürünlerden üretilen biyoyakıtların yarattığı "gıdaya karşı yakıt" anlaşmazlıkları atıklardan yakıt üretimi çalışmalarına itici güç olmaktadır. Bu amaca hizmet etmesi beklenen bu çalışmada (Pietrzakve Kawa-Rygielska, 2014b)'nın ifade ettiği "ekmek atıkları gibi ucuz atık hammadde kaynaklarının kullanımı, biyoetanol üretimi için çok cazip olabilir" ifadesinde de vurgulandığı gibi atık ekmekten üretilen biyoetanolün buji ateşlemeli motorlarda yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılacaktır. Böylelikle atık ekmeğin sürdürülebilir bir kaynak olarak değerlendirilmesi sağlanacaktır. Atık ekmek biyoetanolünün, tarımsal ürünlerin beslenme yerine enerji ihtiyaçlarının karşılanması için kullanımı neticesinde ortaya çıkan gıda güvenliği endişelerini sonlandıracak bir çözüm önerisi olması beklenmektedir.

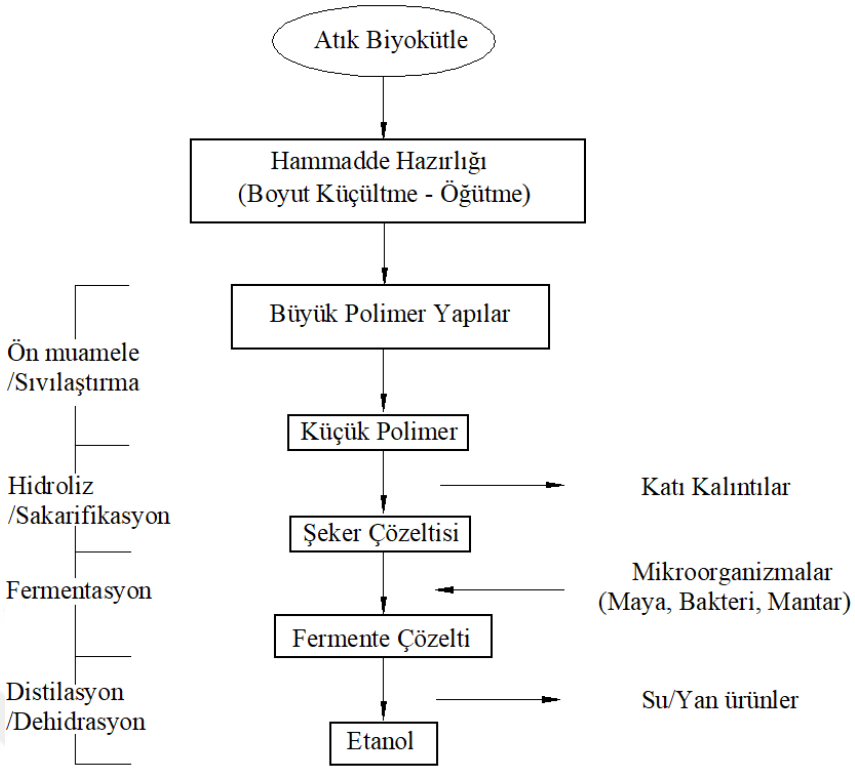
1.3. Biyoetanol Üretimi

Biyoetanol uzun yıllardır otomobil motorlarında kullanılan ve üretimi genellikle şeker, nişasta veya selüloz içeren farklı tarımsal biyokütle kaynaklarına dayanan alternatif ve sürdürülebilir bir yakıttır (Hsieh ve ark., 2002). Günümüzde, ABD'de mısırdan, Brezilya'da şeker kamışından ve şeker pancarından, Avrupa'da buğdaydan üretilen biyoetanol çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Melikoğluve Albostan, 2011). Bu durum biyoetanol üretimi için kullanılan kaynakların ülkelerin tarımsal kaynaklarına göre şekillendiğini ve biyoetanol üretiminin yoğunlukla tarıma dayalı olduğunu göstermektedir. Bayrakçı (2009), biyoetanol üretiminin %95'inden fazlasının tarımsal ürünlerin işlenmesi ile elde edildiğini rapor ederek tarımsal ürün bazlı biyoetanol üretimini doğrulamaktadır. Her ne kadar biyoetanol üretmek için hammadde olarak tarımsal ürünlerin kullanımı yaygın olsa da bazı çevreler tarafından biyoyakıt üretimi için tarımsal kaynakların kullanımı, gıda güvenliğini tehlikeye attığı gerekçesiyle eleştirilmektedir. 20. yüzyılın başlarında akaryakıt rakipleri tarafından ortaya atılan

“fakirlerin yiyeceğini zenginler için yakıta dönüştürme” fikrinden etkilenerek gündeme getirilen “doğrudan gıda tüketimi ile rekabet eden biyoyakıt üretimi” konusu, açlığın ciddi boyutlara ulaşması ile daha büyük kitlelerin dikkatini çekmiştir. Avrupa Birliği’nde tüm küresel biyoyakıt hedeflerine ulaşılması halinde gıda fiyatlarının 2020 yılına kadar %76 oranında artabileceğini, bu tarihe kadar 600 milyon insanın açlığından tarımsal biyokütlenin biyoyakıt üretiminde kullanılmasının sorumlu tutulacağı bildirilmiştir (Kuchlerve Linnér, 2012). Bu durum karşısında biyoyakıt üretimi için gıda atıklarının kullanılması bu sorunlara hem ekonomik hem de etik anlamında sinerjik bir çözüm sunabilir (Melikoglu ve ark., 2013b).

Fermente edilebilir şekerlere dönüştürülebilen herhangi bir hammadde, CO ve H_2’den oluşan sentez gazı veya fermantasyonla işlenen tarımsal hammaddeler etanol üretmek için kullanılabilir (Bayraktar, 2005). Atık biyokütleden biyoetanol üretimine ait akış şeması Şekil 1.4’de verilmiştir. Biyoetanol üretimi süreci öncelikli olarak hammadde kaynağına bağlıdır ve her ne kadar farklı sıcaklık ve basınç koşullarında, farklı mikroorganizmaların kullanımı ile gerçekleşse de temel aşamaları değişmez (Di Nicola ve ark., 2011). Biyokütlenin biyoetanole dönüşümü temelde dört aşamada gerçekleşmektedir: Ön muamele, hidroliz, fermantasyon ve distilasyon. Ön muamele, biyolojik dönüşüm etkinliği üzerinde büyük etkisi olan ve hammaddenin hem mikroskobik hem de mikroskobik anlamda boyutlarını küçültmeye dayanan bir aşamadır. Hammaddenin selüloz içerikli olması durumunda lignin, selüloz ve hemiselülozu ayırmak için çoğunlukla ön muameleye ihtiyaç duyulur (Cekmeceliogluve Uncu, 2013). Selüloz içerikli hammadde hidrolitik enzimlerin yanısıra alkalin ve asit ile ön muameleye tabi tutulabilir. Literatürde şeker içeren hammaddelerin sıcak su ve buharla ön muamele edildiği görülmektedir (Laser ve ark. (2002). Nişasta içeren hammaddeler, enzimler tarafından glikoza kolayca dönüştürülebilir ve enzimle muamele edilmeden önce genellikle kurutulup, küçük parçalara ayrılır. Boyut küçültme amaçlı fiziksel ön işlemler, hammaddenin biyolojik olarak parçalanabilirliğini arttırır. Parçaların boyutu ne kadar küçük olursa, yüzey alanı ne kadar artarsa enzimlerin ve mikroorganizmaların nüfuzu o derece kolay olur. Gıda atıkları ise farklı içeriğe sahip atıkların bir karışımını temsil eder. Bu nedenle, gıda atıklarını hidrolize etmek için bir hidrolitik enzim konsorsiyumu (Glukoamilazlar, selülazlar, proteazlar ve fosfatazlar) gereklidir (Pleissnerve Lin, 2013).

Çizelge 1.7’de nişasta bakımından zengin ekmek atıklarının ve içerik bakımından ekmekle aralarındaki farkın anlaşılabilmesi için çeşitli fırıncılık atıklarının bileşimleri sunulmuştur.



Şekil 1.4. Atık biyokütleden biyoetanol üretiminin genel akış şeması (Nair ve ark., 2017a)

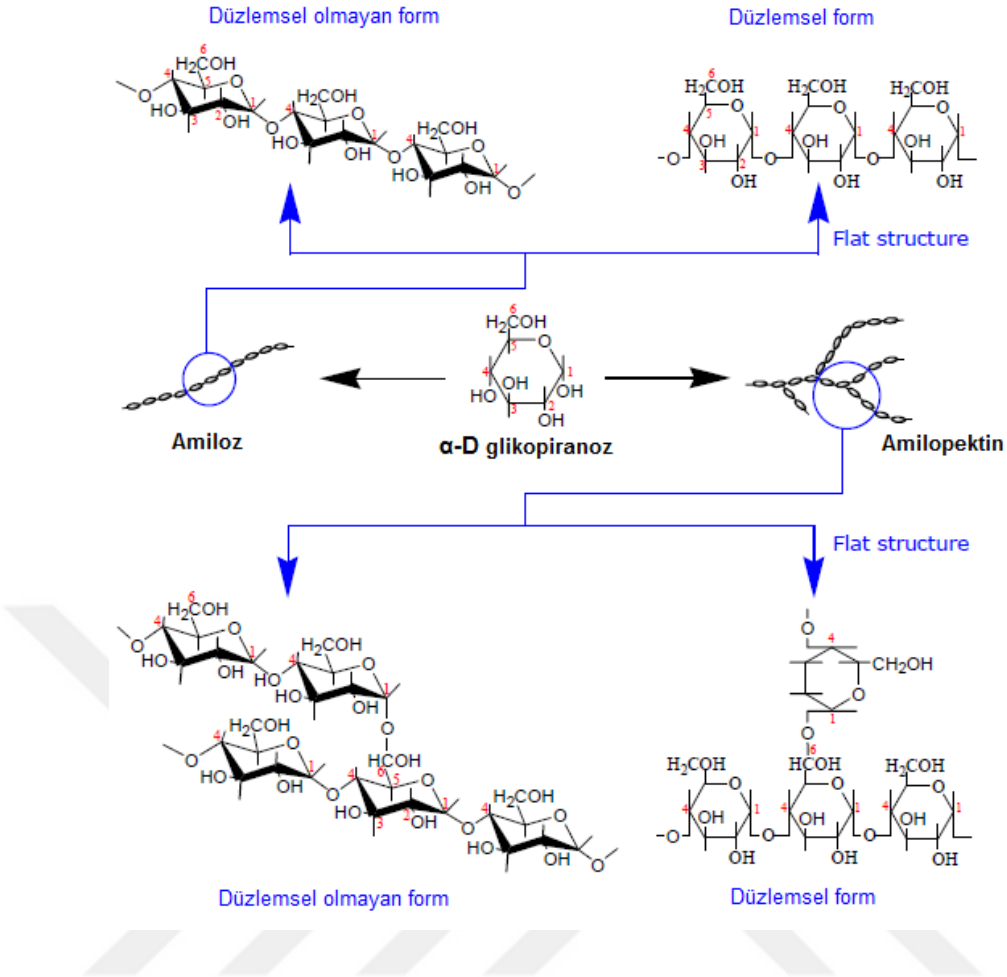
Nişasta ekmeğin kuru ağırlığının temel bileşenidir (%45.34-%59.8) ve bu nedenle ekmeğin hidroliz mekanizmasını anlamak için, nişastanın hidrolizini bilmek gerekir. Nişasta, Şekil 1.5'de görüldüğü gibi kütlesinin sırasıyla %20-25'ini ve %75-80'ini oluşturan amiloz ve amilopektin bileşenlerinden oluşan bir glukoz polimeridir (Kumar ve ark., 1998). Amiloz, (6000 kadar glukoz biriminden oluşan) çoğunlukla 6000'e kadar olan ortalama polimerizasyon derecesine (DP) ve 105 ila 106 g/mol moleküler kütleye sahip olan α-l.4-bağlara sahip doğrusal bir polimerdir. Moleküler kütlesi 107 ila 109 g/mol olan amilopektin ise, α-1.6-bağları ile bağlanan kısa α-14-oligomerlerden oluşan ve 2 milyon DP'lik ortalama bir molekül içeren, çok dallı bir polimerdir (Neves ve ark., 2007). 2 milyon glikoz birimi içermesi, amilopektin polimerini doğadaki en büyük moleküllerden biri yapar (Van der Maarel ve ark., 2002).

Sıcak su ile muamele edildiğinde nişastanın polimer zincirleri arasındaki hidrojen bağları kırılarak nişasta çözeltisini oluşturur. Nişasta moleküllerinin su ve ısının mevcudiyetinde parçalanması ve akabinde nişasta granüllerinin kopması ile beraber amiloz ve amilopektin moleküllerinin dağılması işlemine nişastanın jelatinleşmesi denir ki bu nişastanın enzimatik parçalanmaya duyarlılığı ile ilişkilidir. Enzimatik hidrolizin aşamalarından olan sıvılaştırma ve sakkarifikasyonla glukoz üretimi Şekil 1.6'da detaylandırılmıştır.

Çizelge 1.7. Bazı ekmek çeşitlerinin ve fırıncılık atıklarının bileşimi

	Ekmek (%) [1]	Ekmek (%)[2]	Ekmek (%)[3]	Beyaz ekmek (g)[4]	Ekmek (%)[5]	Çavdar ekmeği (%)[6]	Tava ekmeği (%)[6]	Buğday ekmeği (%)[6]	Ekmek (%)[7, 8]	Somun ekmek (%)[6]	Ekmek (%) [9]	Ekmek (%)[10]	Hamur işi (%)[7]	Kek (%)[3]	Hamur işi (%)[3]	Çörek (%)[6]
Nem	-	22.3	22.3	-	-	-	-	-	24.3	-	-	-	32.4	45.0	34.5	-
Nişasta (kuru bazda)	-	59.8	59.8	45.34	-	-	-	-	48.6	-	46.5	56.3	40.2	12.6	44.6	-
Karbonhidrat	50	-	46.8	-	50.0	44.5	49.0	45.1	-	51.4	-	64.1	30.2	62.0	33.5	55.1
Lipidler	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	19.0	35.2	-
Sakaroz	-	-	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.7	4.5	-
Fruktoz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9	2.3	-
Protein (TN × 5.7) (Kuru bazda)	8	8.9	8.9	9.18	9.0	5.9	6.2	7.0	9.0	9.0	11.5	8.5	6.8	17.0	7.1	9.4
Toplam fosfor (Kuru bazda)	-	Eser miktar	Eser miktar	0.10	0.1	-	-	-	0.08	-	-	-	1.3	1.5	1.7	-
Kül (kuru bazda)	-	-	-	2.26	2.3	2.0	1.6	2.0	2.3	1.8	2	-	2.1	1.6	2.5	1.6
Su	37	-	-	28.67	28.7	45.5	42.0	43.1	-	35.8	37	27	-	-	-	31.7
Azot (N)	-	1.56	-	1.61	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-
Yağ	-	-	-	-	5.0	1.1	0.8	1.6	-	1.3	3	-	-	-	-	2.0
Selüloz	-	-	-	-	-	1.0	0.5	1.2	-	0.7	-	-	-	-	-	0.2
Çözülebilir şekerler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-
Fiber	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-	-	-	-

1: (Kentve Evers, 1994) 2: (Leung ve ark., 2012) 3: (Zhang ve ark., 2013) 4: (Melikogluve Webb, 2013) 5: (Haroon ve ark., 2016)
6: (Nježić ve ark., 2010) 7: (Han ve ark., 2016a) 8: (Han ve ark., 2017b) 9: (Ren ve ark., 2018) 10: (Adessi ve ark., 2018)

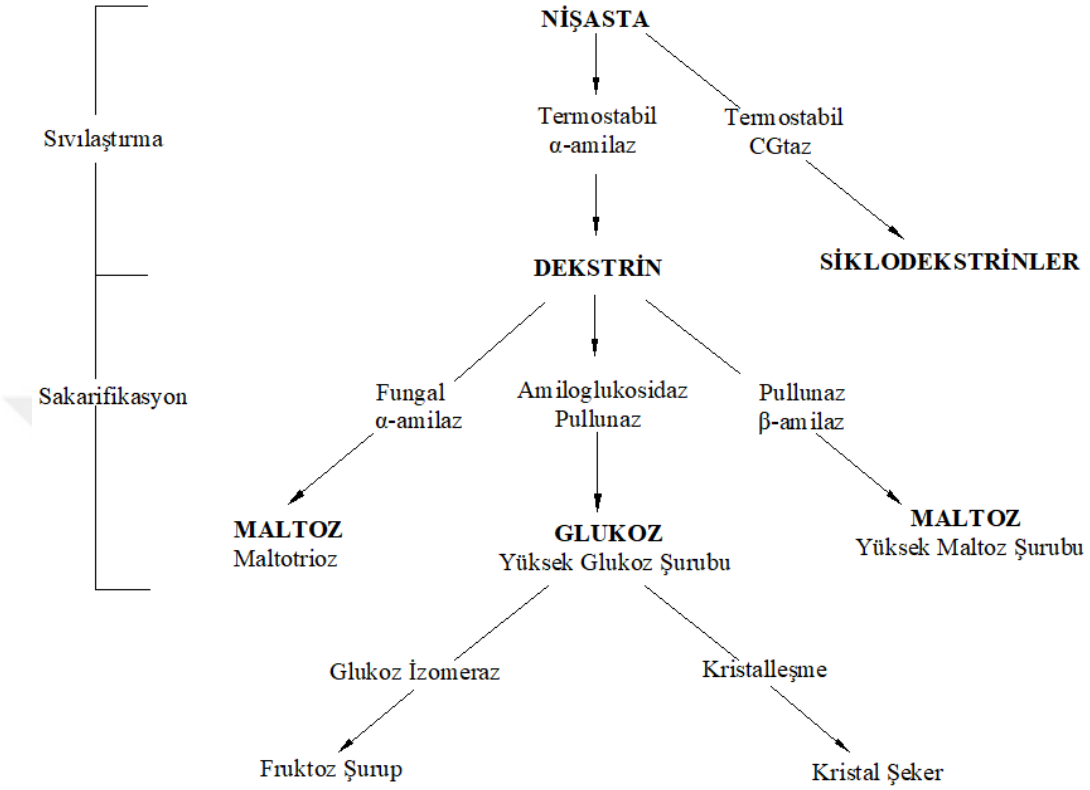


Şekil 1.5. Nişastanın yapısı (Neves ve ark., 2007)

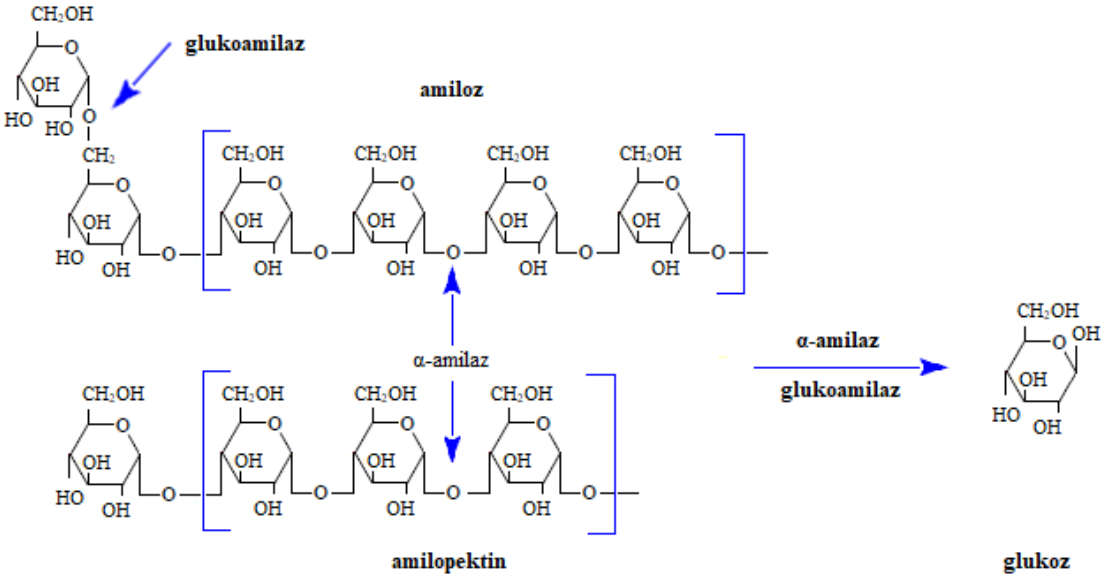
Yüksek glukoz şurubuna tam dönüşüm için ilk adım, çözünür, kısa zincirli dekstrinlere sıvılaştırmadır (Van der Maarel ve ark., 2002). Şekil 1.7'de görüleceği gibi sıvılaştırma maksadıyla çözeltiye ilave edilen amilazlar, rastgele iki şeker birimi arasındaki bağı kopararak zincir uzunluğunu azaltır, nişastanın daha küçük birimleri olan dekstrinlere ve oligosakkaritlere ayrılmasına neden olur.

Sakkarifikasyon için ilave edilen amiloglukosidaz olarak da bilinen glukoamilaz enzimi, nihai ürün glukoz olacak şekilde α-1.4 glikosidik bağlarını ve indirgenmeyen α-1.4 glikosidik bağlarını katalizler, polimer zincirlerinin uçlarından bir şeker birimi ayırır (Kumar ve ark., 1998; Arshadive Grundberg, 2011; Lam ve ark., 2015). Bu iki enzim nişastanın hidrolizi için en uygun iki enzimdir (Hudečková ve ark., 2017). Enzimatik hidroliz neticesinde polimer yapıdaki nişasta fermente edilebilir monomerlere indirgenerek uygun fermantasyon girdisine dönüştürülür. Nişastayı sıvılaştırmak ve sakrifiye etmek için gerekli enerji, nişasta bazlı etanol üretimi sırasında kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %30'u ila 40'ını oluşturmaktadır (Xu ve ark., 2016). Enzimlerin

miktarı, enzimlerin aktif oldukları sıcaklık aralıkları, hidroliz süresi gibi parametreler bu aşama için belirleyici unsurlardır. Nişasta hidrolizi sırasında gerçekleşen temel kimyasal reaksiyon Denklem 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.6. Enzimatik hidroliz genel akış şeması (Van der Maarel ve ark., 2002)



Şekil 1.7. Nişastadan α-amilaz ve glukoamilaz ile glukoz üretimi (Hartmannve Jung, 2010)

Fermantasyon canlı organizmalar yoluyla karmaşık organik bileşiklerin ekzotermik anaerobik bir katabolizmasıdır. Literatürde Hanseniaspora uvarum, Starmerella bacillaris, Zymomonas mobilis, Pichia stipitis, Kluyveromyces marxianus, Kluyveromyces fagilis, Pichia stipitis, Aspergillus niger ve Mucor mucedo gibi bakterilerin kullanımına rastlansa da fermantasyon aşamasında en yaygın kullanıma sahip olan maya türü yüksek etanol verimi, yüksek pH toleransı ve çok çeşitli şekerleri fermente edebilme özelliği ile Saccharomyces cerevisiae'dır (Mohd Azhar ve ark., 2017).

$$nC_6H_{10}O_5 + nH_2O + nC_6H_{12}O_6 \tag{1.1}$$

Nişasta ve sukroz türevli şekerlerden etanol üretimi, Saccharomyces cerevisiae'nın hâkimiyetindedir (Ačanski ve ark., 2014). Maya ile fermente edilebilen D-heksozlar ve oligosakkaritler arasında glukoz, mannoz, fruktoz, galaktoz, maltoz, laktoz, melibioz, trehaloz ve rafinoz bulunur (Kumar ve ark., 1998). Glukozun etanole fermantasyonu Denklem 1.2'de gösterilen kimyasal tepkimeye göre gerçekleşir.

$$nC_6H_{12}O_6 \rightarrow 2nC_2H_5OH + 2nCO_2 + ısı \tag{1.2}$$

Fermantasyonun gerçekleştirildiği sıcaklık, etanol üretimi üzerinde oldukça önemlidir nitekim mayaların büyüme oranı, sıcaklık optimum noktaya ulaşana kadar artarak devam eder. Sıcaklığın çok yüksek olması mikro organizmanın ölmesine neden olurken, düşük olması aktivitesini azaltır. Etanol konsantrasyonunun artması, mikroorganizmanın büyümesine engel olarak yaşama kabiliyetini sınırlayabilir (Alexandreve Charpentier, 1998). Fermantasyon aşaması ile ilgili bir diğer zorluk da biyoetanol üretiminde yaygın kullanıma sahip olan Saccharomyces cerevisiae'nın pentoz formundaki şekerleri fermente edememesidir (Mohd Azhar ve ark., 2017).

Etanol üretimi için en geleneksel yöntem, biyopolimerlerin şekerlere hidrolizinin ve şekerlerin fermantasyonunun ayrı olarak gerçekleştirildiği iki aşamalı ayrı hidroliz ve fermantasyon (SHF) işlemidir (Scullyve Orlygsson, 2014). Atık ekmek veya herhangi bir fırıncılık atığından etanol üretimi genellikle SHF prosesi ile gerçekleştirilir (Ebrahimi ve ark., 2008; Pietrzakve Kawa-Rygielska, 2014a). Bu işlemin en önemli avantajı, hidroliz ve fermantasyon aşamalarının birbirleri üzerindeki etkilerinin en aza indirilebilmesidir. Eşzamanlı sakkarifikasyon ve fermantasyon (SSF) ve eşzamanlı sakkarifikasyon ve kofermantasyon (SSCF), hem sakrifikasyon hem de fermantasyonun aynı fermantasyon kabında eş zamanlı olarak gerçekleştiği iki prosestir (Scullyve Orlygsson, 2015). SHF

prosesinde şeker birikimi α-amilazları engellerken, SSF prosesinde maya veya bakterilerin enzimlerle birlikte varlığı şeker birikimini azaltır. Nişastanın parçalanması sırasında oluşan şeker birikimi α -amilazın etkisini yavaşlattığı için SHF'ye kıyasla SSF ile daha yüksek etanol verimi elde etmek mümkündür (Neves ve ark., 2007). SSCF'nin SSF'den farkı ise, pentoz fermantasyonunun sürece dâhil olmasıdır. Ebrahimi ve ark. (2008) ve Pietrzakve Kawa-Rygielska (2014b)'ya ait çalışmalar atık ekmek kullanılarak SHF prosesi ile etanol üretimine örnek olarak verilebilirken Kumar ve ark. (1998) ve Pietrzakve Kawa-Rygielska (2015b) 'a ait çalışmalar ise atık ekmekten, SSF işlemi ile etanol üretimine örnek verilebilir.

Fermantasyonu takip eden distilasyon işlemi ile su ile karışım halinde bulunan etanol saflaştırılarak yüksek etanol içeriği elde edilir. Fakat her ne kadar distilasyon ile suyun oldukça büyük bir kısmı uzaklaştırılabilse de damıtma ile elde edilebilecek saflık %96 ile sınırlıdır. Daha saf biyoetanol içeriği ancak kalsiyum oksit (su ile reaksiyonu sonucunda kalsiyum hidroksit oluşur) veya tuz kullanılarak elde edilebilir (Eyidoğan, 2009).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Biyoetanolün Atık Ekmek Kullanılarak Elde Edilmesi

Literatürdeki çalışmalar biyoetanol üretimi için genellikle tarımsal biyokütlenin kullanıldığını göstermektedir. Biyoetanol hammadde kaynaklarını şeker kamışı, şeker pancarı, sorgum gibi şeker/(sukroz) içeren hammadde, buğday, mısır, manyok gibi nişasta içeren hammadde ve odunsular, saman, otsu atıklar gibi lignoselülozik hammadde olarak üç sınıfta incelemek mümkündür. Bu kaynaklara ilave olarak son dönemde gıda atıkları kullanılarak da biyoetanol üretimine dayalı çalışmalar yapılmaktadır. Hammadde olarak patates kabuklarının kullanıldığı Arapoglou ve ark. (2010)'na ait çalışma, atık kahve kalıntılarının kullanıldığı Choi ve ark. (2012)'na ait çalışma, elma posasının kullanıldığı Parmarve Rupasinghe (2013)'a ait çalışma, muz kabuklarının kullanıldığı Oberoi ve ark. (2011)'na ait çalışma, limon kabuklarının kullanıldığı Boluda-Aguilarve López-Gómez (2013)'e ait çalışma ve daha birçokları, biyoetanol üretiminde gıda atıklarının kullanıldığı çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Biyoetanol üretimi çalışmaları yukarıda örnekleri verilen bu gıda atıkları ve benzeri hammadde kaynaklarına odaklanmaktadır. Fakat ekmek atıklarının etanol üretimi için kullanıldığı çalışmalar sayıca çok azdır. Bu çalışmaların konuları ve kapsamları ana hatlarıyla kronolojik sırada ele alınmıştır. Choi (1986) tahılların ve kek atıklarının yanısıra atık ekmekten biyoetanol üretim sürecini araştırdığı çalışmada çeşitli çözücülerin ilavesinin fermantasyon süresine veya biyoetanol üretim verimine etkisini araştırmışlardır. Azot bakımından zengin olan çözücüler maya büyümesini desteklediğinden sakkarifikasyondan sonra ilavesi atık ekmekten elde edilen hidrolizatın fermantasyon süresini azaltmıştır. Çözücü ilavesi ile diğer hammaddelerin etanol verimlerinde belirgin değişikliklere neden olurken, atık ekmekten etanol üretim veriminde yalnızca hafif bir artış sağlamıştır. Çalışmada ayrıca hammadde olarak atık ekmek kullanılması durumunda etanolün üretim maliyetinin tahıl kullanımına kıyasla dörtte üç oranında olduğu ortaya konulmuştur.

Kumar ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada öncelikle düşük ve yüksek sıcaklık enzimlerinin gıda atıklarının hidrolizi üzerindeki etkilerini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Gıda atıkları ile fırıncılık atıklarının bir ıslatma maddesi olarak değerlendirilen peynir altı suyu ile kofermantasyonu ise çalışmanın bir diğer inceleme konusudur. Çalışma sonucunda yüksek sıcaklık enzimlerinin gıda atıklarının hidrolizi üzerinde daha umut verici etkilere sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yüksek ve düşük sıcaklık enzimlerinin mevcudiyetinde peynir altı suyu ile gıda atıklarının fermantasyonu neticesinde, alkol

veriminde %33-36 oranında bir artış meydana gelirken işlem süresi 60 saatten 12 saate düşmüştür. Aynı enzimler kullanılarak test edilen gıda atıkları ve fırıncılık atıkları arasında etanol verimi bakımından önemli bir fark gözlenmemiştir

Ebrahimi ve ark. (2008), ekmek atıklarını, fermantasyon için hazır hale getirmek maksadıyla amilolitik enzimler kullanarak sıvılaştırma ve sakkarifikasyon olmak üzere iki aşamalı enzimatik hidrolize tabi tutmuşlardır. Aynı çalışma koşullarında buğday unu da hidrolize edilerek ekmek atıkları ile karşılaştırma yapılmıştır. Ekmek ve buğday ununun enzimatik hidrolizinde meydana gelen değişikliklerin yoğurma, mayalanma ve pişirme işlemleri neticesinde oluşabileceği belirtilmiştir. Ekmek atıklarının genel sakkarifikasyon davranışının, nişastanın enzimatik sakkarifikasyonuna benzer olduğunun ifade edildiği çalışma sonucunda ekmeğin kuru ağırlığı başına 350 g etanol verimi elde edilmiştir.

Olugbengave Ibiyemi (2011), bira posası ve mısır lifinin yanı sıra atık ekmekten biyoetanol üretimini araştırdıkları bir çalışma yürütmüşlerdir. Bira posası ve mısır lifi sırasıyla öğütme, NaOH ile delignifikasyon ve seyreltik asit ön-hidroliz işlemleri ile ön muamele edilirken diğerlerine nazaran daha az lignoselüloz içermesi gerekçesi ile atık ekmek ön muamele edilmeden fermente edilmiştir. Çalışma sonucunda ekmek atıklarının etanol içeriğinin %0.5 olduğu belirtilirken kullanılan tüm substratlardan alkol üretiminin fermantasyon süresi ile arttığı saptanmıştır. İlave olarak biyoetanol üretim miktarının, toplam karbonhidrat miktarı ve indirgen şeker miktarı ile doğru orantılı, numunenin lif içeriği ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Kawa-Rygielskave Pietrzak (2011)'a ait çalışmada son kullanma tarihinden sonra toplanan ve yüzeylerinde küf belirtileri gözlemlenen atık buğday ve çavdar ekmeğinin etanol üretim sürecine etkisi araştırılmıştır. Ağırlıkça %28, %32 ve %36 konsantrasyonlarında substrat içerecek şekilde hazırlanan mayşelerin herbiri için substrat miktarına bakılmaksızın fermantasyon prosesinin 68 saat sürdüğü tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda etanol konsantrasyonları %28, %32 ve %36'lık mayşeler için sırasıyla 60.7, 72.7 ve 83.1 g / L olarak bulunmuştur.

Kawa-Rygielska ve ark. (2012) buğdağ-çavdar ekmeği atıklarından etanol üretimi sürecinde kompleks enzimatik preparatların (Ceremix 2XL, Ceremix 6X MG) kullanılması üzerine çalışmışlardır. Karşılaştırma için amilolitik enzimlerin (α-amilaz ve glukoamilaz) kullanılması ile bir kontrol örneği hazırlanmıştır. Çalışmada buğday-çavdar ekmeğinin fermantasyon için yüksek getirili bir hammadde olduğu ve kompleks enzimatik preparatların ilavesinin kontrol numunesine (93 saat) kıyasla fermantasyon süresini 72 saate kısalttığı görülmüştür. Ayrıca kompleks enzimatik preparatlar buğday-

çavdar ekmeği mayşelerinin (kuru bazda 100 gram ekmek için sırasıyla 35.53 ve 36.60 g etanol) etanol veriminde kontrol örneğine (35.24 g) göre önemli bir artışa neden olmuştur.

Melikoglu ve ark. (2013a) çalışmalarında, ekmeğin katı hal fermantasyonu için ideal bir substratın özelliklerine sahip olduğunu belirterek, atık ekmek parçalarından glikoamilaz ve proteaz enzimlerinin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Prosesi etkileyen işlem parametrelerinin (partikül büyüklüğü, başlangıçtaki nem içeriği ve fermantasyon süresi) optimize edildiği çalışmada optimum koşulların parçacık boyutu 20 mm, başlangıç nem oranı 1.8 ve fermantasyon süresi 144 saat için sağlandığı tespit edilmiştir.

Kawa-Rygielska ve ark. (2013) gıda endüstrisinde yeniden işlenme bakımından düşük kıymete sahip ekmek atıklarının miktarının, fırınlamadaki gelişmelere bağlı olarak arttığını ve bu atıkların, etanol üretimi için kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu çalışmada ekmek üretimi ve dağıtımı esnasında atıkların oluşma nedenleri, fırınlarda atık ekmeğin geri dönüşüm süreci, ekmek bileşenlerindeki fizikokimyasal değişikliklerin etanol üretimine etkileri gibi konular ele alınmıştır. Çalışma sonucunda işleme teknolojisine bağlı olarak atık ekmek kullanılarak kg başına 350-366 g etanol elde edilebileceği, ayrıca ekmeğin küf bulundurmasının etanol verimini azaltsa da (250 g/kg) kullanılabilirliği etkilemediği dile getirilmiştir.

Moukamnerd ve ark. (2013) geliştirdikleri (CCSSF) birleştirilmiş sürekli katı hal fermantasyon sisteminin gıda atıklarından etanol üretimi için kullanılmasının fizibilitesini araştırmışlardır. Substrat olarak ekmek kabuğunun, pişmemiş pirinç tanesinin ve patates cipsinin kullanıldığı çalışmada bu hammaddelerin etanole dönüşüm verimleri sırasıyla (0.57 g-etanol/g-karbonhidrat teorik verime karşı) %100.9 ±%5.1 ve%108.0 ±%7.9, 80.7 ± 4.7 olarak bulunmuştur. Ekmek kabuğunun pirinç tanesine nazaran daha az nişasta içermesine rağmen daha fazla etanol üretimine neden olması ekmek kabuğunun sakkarifikasyon ve fermantasyon proseslerinin daha kolay olmasına bağlanmıştır. Patates cipsinin etanole dönüşüm veriminin düşük olmasının nedeni ise tuz içeriğinin maya aktivitesini olumsuz etkilediği şeklinde yorumlanmıştır.

Ačanski ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada bir laboratuvarda buğday ve karabuğday ununun faklı oranlarda (%0, %20, %40, %50, %60, %80 ve %100) karıştırılması ile hazırlanan ekmek numunelerinden etanol üretim sürecini araştırmışlardır. En yüksek biyoetanol verimi saf buğday unu ile yapılan ekmek numunesinde elde edilirken ekmekteki karabuğday ununun miktarı arttıkça etanol veriminde azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Buğday içeriği fazla olan ekmek numunelerinin karabuğday içeriği fazla olana nazaran daha fazla etanol dönüşüm

verimliliği sağlaması buğday ununun daha fazla nişasta içermesi ile ilişkilendirilmiştir.

Pietrzakve Kawa-Rygielska (2014a)'ya ait çalışma atık buğday çavdar ekmeğinden etanol üretimi prosesinde granül nişasta hidrolize edici enzim (GSHE) kullanımını konu etmektedir. Çeşitli ön muamele yöntemlerinin (enzimatik ön-hidroliz, mikrodalga ışıması, sonifikasyon) fermantasyona etkileri araştırılarak hidroliz ve fermantasyon işlemlerinin ayrı ayrı gerçekleştiği SHF ile karşılaştırma yapılmıştır. Ön muameleye tabi tutulmamış atık buğday çavdar ekmeğinin fermantasyonu 1 kg hammadde için 354.36 g etanol üretimi ile sonuçlanmıştır. Hammaddenin çalışmaya konu olan ön muamele işlemlerinden geçirilmesi ile, etanol veriminin yaklaşık olarak %3-8 arttığı saptanmıştır.

Pietrzakve Kawa-Rygielska (2015a) çalışmalarında atık buğday-çavdar ekmeğinden eş zamanlı sakkarifikasyon ve fermantasyon (SSF) koşullarında etanol üretimini araştırmışlardır. Enzimatik sıvılaştırma koşulları, nişastanın ısıl özellikleri baz alınarak değiştirilmiş, sonuçlar α-amilaz enziminin aktivitesinin optimum olduğu 85°C sıcaklık ile karşılaştırılmıştır. Değişen koşullar ile 85° C sıcaklığa nazaran her ne kadar hidroliz veriminde azalmalar gözlense de etanol veriminde artış saptanmıştır. En iyi sonuçlar 1 kg kuru madde başına 425 g etanol üretimi ile nişasta jelatinizasyonunun son sıcaklığı olan 59 °C'de elde edilmiştir.

Demirci ve ark. (2016)'nın fermente edilebilir şekerlerin üretimi açısından atık ekmek potansiyelini araştırdıkları çalışmada üretilen şeker miktarını artırmak için yanıt yüzey yöntemi ile en uygun substrat, su ve enzim oranını bulmayı ve hidroliz sırasında sistemin reolojik davranışını araştırmayı hedeflemişlerdir. Sıvılaştırma ve sakkarifikasyon aşamalarında atık ekmeğin enzimatik hidroliz koşulları optimize edilerek ön muameleye ihtiyaç duyulmadan %99 teorik maksimum glikoz verimi elde edilebileceği dile getirilmiştir. Çalışmanın sonuçları hammadde olarak atık ekmek kullanımının yüksek güç tüketimine ve ekipmanlarda aşırı aşınmalara neden olmadan ekonomik anlamda avantajlı olduğu işaret edilmiştir.

Han ve ark. (2017a) eş zamanlı olarak biyohidrojen ve etanol üretimi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Katı hal fermantasyonu kapsamında kullanılmak üzere üretilen glukoamilaz ve proteaz enzimleri ekmek hidrolizatı hazırlamak için kullanılmıştır. Çalışmada gram cinsinden birim atık ekmek başına hidrojen ve etanol üretimi sırasıyla 4.87 mmol ve 7.54 mmol olarak bulunmuştur.

Hudečková ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada fermantasyon etkinliğini artırmak maksadıyla pH ve sıcaklık bakımından optimum hidroliz koşullarının tespit edilmesi

üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Atık ekmek, farklı pH değerlerinde (5, 6, 7) ve sıcaklıklarda (70, 80 ve 90°C) α-amilaz ilave edilerek 180 dakika sıvılaştırmaya tabi tutulmuştur. Sıvılaştırılmış süspansiyon daha sonra yine farklı pH değerlerinde (3.2, 4.2, 5.2) ve farklı sıcaklıklarda (55, 60, 65 °C) glukoamilaz ile 90 dakika sakkarifikasyona uğramıştır. Optimum koşulların, sıvılaştırma için pH 6, 80 °C, sakkarifikasyon için ise pH 4.2, 60 °C olduğu tespit edilmiştir.

Magyar ve ark. (2017) tarafından %68.3 glukoz içeriğine sahip olduğu belirtilen kek atıkları yüksek şeker içeriğine sahip atıklardır. Yüksek fermente edilebilir şeker içeriği elde etmek için alfa amilaz, gama amilaz ve pektinaz enzimlarinin farklı oranlarda karışımları test edilmiş, optimum karışım oranlarının sırasıyla %45, %45 ve %10 olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda ayrıca 1000 g kek atığı başına 329 g etanol üretimi gerçekleştirilmiştir.

Datta ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada atık ekmeğin tek başına bir fermantasyon hammadesi olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Enzimatik hidroliz aşamasında, katı hal fermantasyonu ile üretilen çoklu enzim çözeltisinin kullanıldığı çalışmada hidrolizden sonra 145 ± 10 g/L glikoz elde edilirken birim glikozdan elde edilen etanol üretim veriminin 0.37 olduğu tespit edilmiştir.

Han ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kek atığının hidroliz aşamasında farklı oranlarda alfa amilaz ile muamelesinin etkileri araştırılmış, optimum hidroliz performansı sağlayan 0.8 mL/L'lik α-amilaz kullanımı ile 1.12 g etanol/g kuru madde etanol üretimi gerçekleştirilmiştir. Kek atıklarının diğer gıda atıkları ile karşılaştırıldığında daha yüksek etanol dönüşüm verimine sahip olması, biyoetanol üretimi için uygunluğunu göstermiştir. Çalışmada maliyet açısından 0.1 ml/L enzim uygulamasının pratikte daha uygun olabileceği belirtilmiştir.

Yukarıda bahsi geçen çalışmalar, hammadde, hammaddenin maruz kaldığı ön muamele işlemi, enzimatik hidroliz için kullanılan enzimler, fermantasyon için kullanılan mikroorganizma, fermantasyon sıcaklığı, fermantasyon süresi, reaktör tipi ve son olarak etanol verimi baz alınarak Çizelge 2.1'de özetlenmiştir. Sınırlı sayıda olan bu çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla biyoetanol üretim işleminin nasıl gerçekleştiğine odaklanıldığı görülmektedir. Çalışmalarda üretilen biyoetanolün yakıt özelliklerinin araştırılmadığı, biyoetanolün kullanıldığı her hangi bir alanda (örneğin motor yakıtı olarak) test edilmediği dikkat çekmektedir.Yani "Atık ekmekten üretilen biyoetanol motor yakıtı olarak gereksinimleri karşılayabilir mi?" veya "Atık ekmek bazlı biyoetanolün yakıt özelliklerinin artıları ve eksileri nelerdir" gibi soruların yanıtları hala

belirsizdir. Ayrıca, biyoetanol üretim sürecinin aşamalarının sürece katkısını ortaya koyan bir deney tasarımına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

2.2. Buji Ateşlemeli Motorlarda Biyoetanol Kullanımının Değerlendirilmesi

Motor çalışma parametrelerinin çok sayıda ve çeşitlilikte olması, literatürde farklı koşullar altında biyoetanol-benzin yakıt karışımları ile çalıştırılan SI motorları konu alan çalışmalara rastlanmasına neden olmaktadır. Fakat bu çalışmaların birçoğu yalnızca motor performansını ve egzoz emisyonlarını ve çok azı yanmayı temel alan çalışmalardır. Aşağıda bu çalışmaların bir kısmı özetlenmiştir.

Abdel-Rahmanve Osman (1997), %10, 20, 30, 40 oranlarında etanol içeren benzin-etanol karışımları ile yakıtlandırılan bir benzinli motorun farklı sıkıştırma oranlarında çalıştırılmasının silindir basıncı, termal verim, enjeksiyon basıncı parametreleri üzerine etkisini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Etanol oranının artmasının motor gücünde azalmalara yol açtığı, etanol oranı %20'nin üzerine çıktığında sıkıştırma oranındaki artışın motor gücünü artırdığı saptanmıştır. Maksimum güç elde etmek için gerekli sıkıştırma oranları E20, E30, E40 yakıtları için sırasıyla 10, 11, 12 olarak bulunmuştur. Yakıt içerisinde hacimce %20'nin üzerinde etanol varlığında sıkıştırma oranının artması termal verimde artan yönde etkiye neden olmuştur.

Bayraktar (2005) benzine düşük oranlarda etanol ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırdıkları çalışmada, motor testleri sabit devir sayısı ve ateşleme avansında iki farklı sıkıştırma oranı için gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları yakıt içerisindeki etanol oranı arttıkça yanmanın iyileşmesinin bir sonucu olarak maksimum silindir basıncı ve sıcaklığının arttığını buna karşın yanma süresinin azaldığını göstermiştir. Silindir basıncının yükselmesi imep, bmep, motor gücü ve termal verimin artmasına neden olmuştur. Etanol oranının artmasıyla birlikte oluşan yüksek vuruntu direncinin bir karşılığı olarak motor gücündeki artışın yüksek sıkıştırma oranında daha belirgindir. Yine efektif basınçtaki artış etanol ilavesiyle yanmanın iyileşmesi ile ilişkilendirilmiştir. Etanol ilavesi karışımı fakirleştirdiğinden etanol benzin karışımlarının kullanılması durumunda benzine nazaran daha düşük özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir. Etanolün C içeriğinin daha düşük olması ve yanmanın stokiyometrik şartlara yaklaşması nedeniyle CO emisyonları etanol ilavesiyle azalırken, NO konsantrasyonları artan silindir sıcaklığından olumsuz etkilenmiştir. Deneysel parametreler değerlendirildiğinde motor için en uygun yakıtın %7.5 etanol içeren karışımı olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Atık ekmek ve fırıncılık atıklarından biyoetanol üretimine dair çalışmalar

Referans	Hammadde	Reaktör Tipi	Ön Muamele	Enzimler (Sıvılaştırma/ Sakkarifikasyon)	Mikroorganizma	Ferm. Sıcaklığı	Ferm. Süresi	Etanol verimi (g/g kuru bazda)
Choi (1986)	Atık ekmek	Sızdırmazlığı sağlanmış şişeler	Güneşte kurutma	α-amilaz, glukoamilaz	Kuru maya	30°C	62 saat	164- 263 ml/kg
Kumar ve ark. (1998)	Fırıncılık atığı	14 L'lik Mikroferm Tezgâh Üstü Fermenter	Sicak su ile muamele	Fungamil, α-amilaz, amiloglükosidaz, β-galaktosidaz preparasyonu, bakteriyel α -amilaz ve alkolaz II enzim karışımı	Saccharomyces cerevisiae	30 ºC	-	0.324
Ebrahimi ve ark. (2008)	Atık ekmek	-	Kurutma	Termostabil a-amilaz, fungal amiloglükosidaz	Saccharomyces cerevisiae	30 ºC	10 saat	0.35
Olugbengave Ibiyemi (2011)	Atık ekmek	Bir fermenter	Kurutma	-	Saccharomyces cerevisiae	NR	1-7 gün	0.018 (w/v)
Kawa-Rygielskave Pietrzak (2011)	Atık ekmek	-	Kurutma	Termostabil α-amilaz, glukoamilaz, β-glukanaz- ksilanaz preparasyonu	Saccharomyces cerevisiae	30 ºC	68 saat	0.254
Kawa-Rygielska ve ark. (2012)	Atık ekmek	300 mL'lik Erlenmeyer şişeler	Kurutma	Termostabil α-amilaz, glukoamilaz, hemiselülaz, Ceremix 2XL and Ceremix 6X MG kompleks enzimatik preparasyonları	Saccharomyces cerevisiae	30 ºC	72-93 saat	0.366
Moukamnerd ve ark. (2013)	Ekmek kabuğu	Bir tamburlu reaktör	Kurutma	α-amilaz, amiloglükosidaz	Kuru maya	32 °C	30 saat	0.27
Ačanski ve ark. (2014)	Atık ekmek	30˚C'de termostatlı ısıtıcılı şişeler	Kurutma	Termostabil α-amilaz, glukoamilaz	Saccharomyces cerevisiae	30 ºC	0, 16, 25, 39, 49, 63, 67 saat	0.408
Pietrzakve Kawa-Rygielska (2014a)	Atık ekmek	Bir fermantasyon tüpü	Kurutmaya ilave olarak enzimatik mikrodalga ve ultrasonik ön işlem	GSHE, bacteriyel proteaz, Ceremix 6X MG enzim preparasyonu, termostabil α-amilaz, glukoamilaz	Saccharomyces cerevisiae	-	24, 48, 72 saat	0.389

Çizelge 2.1. Atık ekmek ve fırıncılık atıklarından biyoetanol üretimine dair çalışmalar, devamı

Referans	Hammadde	Reaktör Tipi	Ön Muamele	Enzimler (Sıvılaştırma/ Sakkarifikasyon)	Mikroorganizma	Ferm. Sıcaklığı	Ferm. Süresi	Etanol verimi (g/g kuru bazda)
Pietrzakve Kawa-Rygielska (2015a)	Atık ekmek	Bir fermantasyon tüpü	Kurutma	Termostabil α -amilaz preparasyonu, glukoamilaz preparasyonu, proteaz	Saccharomyces cerevisiae	-	24, 48, 72, 96 saat	0.425
Demirci ve ark. (2016)	Atık ekmek	-	Kurutma	Termostabil α-ailaz, amiloglükosidaz	-	-	-	-
Han ve ark. (2017a)	Atık ekmek	4 L'lik tank reaktörü	-	Glukoamilaz ve proteaz	-	-	-	7.54 (mmol/g)
Hudečková ve ark. (2017)	Atık ekmek	250 mL'lik Erlenmeyer şişeler	Kurutma	α-amilaz, glukoamilaz	-	-	-	-
Magyar ve ark. (2017)	Kek atığı	250 mL Erlenmeyer şişeler	Kurutma	Pectinaz, α-amilaz, γ-amilaz	Saccharomyces cerevisiae	30 °C	18 saat	0.329
Datta ve ark. (2018)	Atık ekmek	-	-	Glukoamilaz ve proteaz	Saccharomyces cerevisiae	-	-	-
Han ve ark. (2019)	Atık kek	0.5 L'lik fermentör	Kurutma	α-amilaz	Saccharomyces cerevisiae	-	20 saat	1.12

Topgül ve ark. (2006) farklı etanol benzin karışımları ile yakıtlandırılan bir buji ateşlemeli motorun motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimi deneysel olarak incelemişlerdir. Motor testleri esnasında ayrıca ateşleme zamanlaması ve sıkıştırma oranının etkisi de araştırılmıştır. Karışımdaki etanol oranına bağlı olarak ateşleme zamanlamasının geciktirilmesi fren torkunda artışa neden olurken, fren özgül yakıt tüketimini azaltıcı yönde etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Ateşleme zamanlamasının artırılması yanma işleminin daha erken gerçekleşmesine neden olduğundan silindir içi sıcaklığını ve paralelinde egzoz gaz sıcaklığını düşürmüştür. CO emisyonlarındaki azalma referans alındığında en iyi şartlar, motorun 9:1 sıkıştırma oranında E40 yakıtı ile çalıştığı durumda elde edilmiştir.

Yücesu ve ark. (2007) çalışmalarının ilk aşamasında yakıt olarak etanol-benzin karışımları kullanan tek silindirli dört zamanlı bir motorda, tam gaz kelebek açıklığında, sabit devir sayısında değişken sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı ve ateşleme avansında gerçekleştirdikleri motor testlerinde motor torku ve fren özgül yakıt tüketimindeki değişimleri incelemişlerdir. Çalışmanın ikinci aşaması ise motor torku ve fren özgül yakıt tüketiminin modellenmesi için yapay sinir ağları uygulamasından oluşmaktadır. Motor testleri, saf benzin ve benzin-etanol karışımları için maksimum fren torkunun elde edildiği ateşleme zamanı arasında önemli bir değişiklik olmadığını göstermiştir. Ateşleme avansının yükselmesi durumunda etanol içerikli yakıtların benzine nazaran daha yüksek fren torku sağladığı tespit edilmiştir. λ=1 için sıkıştırma oranı ve yakıt karışımlarının etkileri değerlendirildiğinde motor torkundaki en yüksek ivme E40 ve E60 yakıtlarında elde edilmiştir. Bu durum E40 ve E60 yakıtlarının oktan sayılarının yeterli düzeyde olmasının motor torku açısından avantaj oluşturduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Celik (2008) tarafından yapılan çalışmada buji ateşlemeli bir motorun yüksek sıkıştırma oranlarında, değişken devir sayılarında farklı oranlarda etanol ihtiva eden benzin-etanol karışımları ile çalıştırılması durumunda performansı artıran ve egzoz emisyonlarını azaltan ideal test koşullarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Karışım içeriğindeki etanol oranının artmasının özgül yakıt tüketimini artırdığını saptayan araştırmacı çalışmada ayrıca E0 ile karşılaştırıldığında E100 hariç diğer karışımlar için gücün sırasıyla %3, %6 ve %2 oranında arttığını, E100'de ise %4 oranında azalma meydana geldiğini tespit etmiştir. Sıkıştırma oranı 6/1 iken, 2000 rpm devir sayısında yapılan motor testleri için motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından en ideal sonuçları veren yakıtın E50 olduğu belirtilirken, bu yakıtın ayrıca yüksek sıkıştrma

oranlarında artan HC ve NOx emisyonlarını azaltıcı etkiye sahip olduğu dile getirilmiştir.

Koç ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada benzinle iki farklı oranda harmanlanarak hazırlanan test yakıtlarının sekiz devir sayısı ve iki sıkıştırma oranında çalışan tek silindirli bir SI motorun performans ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Motor testleri tam gaz kelebeği açıklığında, maksimum fren torku ateşleme avansında, sitokiyometrik hava yakıt oranı korunarak yapılmıştır. Etanolün O_2 içerikli yapısı tam yanma koşullarına yaklaşılmasını sağlarken, etanolün benzine nazaran daha yüksek yoğunluğa ve buharlaşma gizli ısısına sahip oluşu silindir içine daha fazla yakıt girişine imkan tanır. Bu üç olgu, etanol ilavesiyle motor torkunda ve motor gücünde meydana gelen artışı açıklamaktadır. Benzinle kıyaslandığında %35 daha düşük enerji içeriğine sahip etanolün ilavesi fren özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmuştur. Fakat özgül yakıt tüketimindeki artışın sıkıştırma oranınının artırılması ile bir miktar kontrol edilebileceği belirtilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre etanolün oksijen içerikli oluşu ve karışımı fakirleştirici etkisi HC emisyonlarında azalmaya neden olurken yüksek sıkıştırma oranı neticesinde ortaya çıkan yüksek yüzey alanı/hacim oranı HC emisyonlarını artırıcı yönde etki etmiştir. Yine etanolün sahip olduğu yüksek gizli ısısı nedeniyle NO_X emisyonları azalırken, sıkıştırma oranınındaki artışla bu emisyonlar artmıştır.

Cooney ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada sabit motor yükü ve devir sayısında değişken sıkıştırma oranlarında, etanol-benzin karışımları ile çalıştırılan motorun yanma özellikleri ile ilgilenmişlerdir. Çalışmada yüksek etanol içerikli karışımların kullanılması durumunda, vuruntu ile sınırlanan sıkıştırma oranının artırılabileceği belirtilmiştir. Yanma açısından yapılan değerlendirmede ise düşük sıkıştırma oranlarında yakıtlar içerisinde artan etanol miktarı ile %0-10 MFB süresinin kısaldığı, hem %0−10 hem de %10−90 MFB için en uzun yanma süresinin benzin yakıtı için elde edildiği rapor edilmiştir.

Seshaiah (2010) yaptıkları çalışmada, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir motorun etanol-benzin (E10, E15, E25, E35) ve karosen-benzin karışımları ile çalıştırılması durumunda termal verim, volümetrik verim, CO ve CO_2 emisyonlarındaki değişimi araştırmışlardır. En yüksek verimin E35 yakıtı ile elde edildiği çalışmada etanolün karosene kıyasla yanmayı tamamlamaya daha çok yaklaştığı ifade edilmiştir. Yükteki artış, volümetrik verimi doğrudan etkileyerek tüm sıkıştırma oranları için yüke bağlı olarak artmasına neden olmuştur. Hem CO hem de CO_2 emisyonlarının sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak düştüğü saptanmıştır. Tüm sıkıştırma oranları ve yük

değerleri için en ideal yakıt karışımının E10 olduğu dile getirilmiştir.

Eyidogan ve ark. (2010) etanol-benzin ve metanol-benzin harmanları ile çalıştırılan SI motorlu bir araç için motor performansı ve yanma davranışını araştırdıkları çalışmada araç hızı ve tekerlek gücünü değişken deney parametreleri olarak kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre silindir basıncı, tüm araç hızları için tekerlek gücündeki artışa bağlı olarak artmıştır. Maksimum ısı salım hızı hem tüm araç hızlarında hem de tüm tekerlek güçlerinde motorun saf benzin ile çalıştırılması durumunda elde edilmiştir. Ayrıca saf benzin kullanıldığı durumda ısı salım oranı alkol-benzin yakıt karışımlarına nazaran daha erken artmaya başlamıştır.

Turner ve ark. (2011) kısmi yük altında farklı ateşleme ve enjeksiyon stratejileri ile çalıştırılan bir motorda benzin ve biyoetanol kullanılmasıyla ilgili deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Etanolün yüksek alev hızı nedeniyle, karışım yakıtlar için yanma sürelerinin benzine nazaran daha kısa olduğu ve bu durumun kararlı bir biçimde gelişen yanma davranışı ve yanma verimi ile birlikte yüksek silindir basıncı ile sonuçlandığı bildirilmiştir. Çalışmada etanol ilavesi ile CO emisyonlarında meydana gelen azalmalar da yine yanma verimliliğine atfedilmiştir.

Schifter ve ark. (2011)'na ait çalışmada farklı lambda değerlerinde fren gücünün ve fren özgül yakıt tüketiminin değiştirilmesi ile benzin-etanol karışımları kullanan bir motorun performansı üzerinde meydana gelen etkiler araştırılmıştır. Çalışma sonucunda %10'a kadar etanol ilavesinin, benzine kıyasla yanma oranlarında marjinal etkilere sahip olduğu, ancak %20 etanol ilavesinin, yanma işlemini yavaşlattığı ve çevrimler arası farklılıkları arttırdığı saptanmıştır. Çalışmada ayrıca, etanol ilavesinin yakıt tüketimi ve yanma verimi üzerinde yol açtığı azalmanın, etanolün enerji içeriğindeki azalmadan daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Yoonve Lee (2012)'ye ait çalışma SI motorun biyoetanol ile çalıştırılmasının, motorun performans ve emisyonları üzerindeki etkilerini incelemektedir. Çalışma kapsamındaki deneyler, beş farklı devir sayısında farklı emme havası sıcaklıkları için gerçekleştirilmiş olup biyetanol yakıtı için elde edilen sonuçlar benzininki ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar emme havası sıcaklığının azalmasıyla, emme havasındaki yoğunluğun artışına bağlı olarak, emme debisinin arttığını göstermektedir. Etanol yakıtının, tüm motor hızları ve ortam sıcaklığı koşulları için benzinden daha yüksek hacimsel bir verime sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca etanolün yanması durumunda, yüksek gizli ısı buharlaşma oranı ve düşük kaynama noktası nedeniyle benzinden daha yüksek yanma basınçları yarattığı belirtilmiştir. Emme sıcaklığının

düşmesi nedeniyle artan hacimsel verimin silindir basınçları üzerinde artırıcı yönde bir etkiye neden olduğu ve ortam hava sıcaklığının ve motor hızının artmasıyla NOx emisyonlarının orantılı olarak artma eğiliminde olduğu çalışmanın diğer sonuçlarındandır.

Costagliola ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada benzine %0, 10, 20, 30 ve %85 etanol ilavesinin yanma verimi ve emisyonlar (düzenlenmiş emisyonlar, düzensiz organikler ve partikül) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Etanol içerikli yakıtların yanma verimi ile benzininki arasında belirgin bir fark bulunamazken, oluşan partikül emisyonlarının benzine kıyasla dikkate değer bir şekilde (%60 ile %90 arasında) azaldığı tespit edilmiştir.

Canakci ve ark. (2013) hacimsel olarak aynı benzin oranlarına sahip etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının motor performansı ve yanma özellikleri üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. İki farklı araç hızında, dört farklı tekerlek gücünde çalıştırılan bir şasi dinamometresi ile bağlantılandırılan ve SI motorda yapılan deneyler sonucunda tüm tekerlek güçleri için etanol kullanımının CO, CO_2, HC ve NOx emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Bu durum etanol ve metanoldeki oksijen içeriğinin bir sonucu olarak yanma sürecinin iyileşmesi ile ilişkilendirilmiştir.

Balkive Sayin (2014) çalışmalarında, yakıt olarak saf etanol, metanol ve kurşunsuz benzin kullanan buji ateşlemeli motorun performans, yanma ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Motor testleri, orijinal ateşleme zamanı 23° ÜÖNö'de, sabit devir sayısında (2400 rpm), tam açık gaz kelebeği pozisyonunda, dört farklı sıkıştırma oranında (8:1, 8.5:1, 9:1 ve 9.5:1) gerçekleştirilmiştir. Alkollerin kullanılması durumunda silindir içi gaz basıncı, ortalama indike efektif basınç, volümetrik verim, termal verim ve fren özgül yakıt tüketiminin tüm sıkıştırma oranları için benzine nazaran daha yüksek olduğu dile getirilmiştir. 9.5:1 sıkıştırmaoranında CO_2 emisyonu hariç tutulmak üzere, alkollerin kullanımı egzoz emisyonlarında azalma ile sonuçlanmıştır. Ayrıca alkol kullanımı ile silindir içi gaz basıncı ve ısı salım hızının daha erken yükselmeye başladığı saptanmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça alkoller için daha düşük fren özgül yakıt tüketimi değerleri elde edilmiştir.

Lattimore ve ark. (2016)'na ait çalışmada sıkıştırma oranının değiştirilmesinin butanol-benzin ve etanol-benzin karışımları ile yakıtlandırılan direk enjeksiyonlu SI motorun yanma davranışında ve PM emisyonlarında ne gibi değişikliklere yol açtığı araştırılmıştır. Benzine etanol ilavesinin, MFB50 noktasını geliştirdiği, ve yanma süresini kısalttığı rapor edilmiştir. Etanol içeren yakıtların (özellikle E20'nin), NOx ve HC

emisyonlarının azalmasında oldukça etkili olduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak, etanol ilavesi, sıkıştırma oranının artışı ile birleşince yanma verimini artırıcı, emisyonları azaltıcı bir etki yaratmıştır.

Kim ve ark. (2015) çalışmalarında, etanolün port yakıt enjeksiyonu ve benzinin direkt enjeksiyonunun tam yük koşulları altında yanma parametreleri ve egzoz emisyon özelliklerinde meydana getirdiği değişimleri incelemişlerdir. Çalışma için deneysel prosedür motorun iki farklı sıkıştırma oranında çeşitli enjeksiyon zamanlarında çalıştırılması şeklinde olup çalışma sonucunda, etanol ilavesiyle HC ve NOx emisyonlarında artış, CO emisyonlarında ise azalma saptanmıştır. 9.5'lik bir sıkıştırma oranı altında CO, HC ve partikül emisyonlarında küçük azalmalar görülürken, 13.3'lük bir sıkıştırma oranı altında etanolün enjeksiyon miktarı arttıkça belirtilen emisyonlardaki azalmalar önemli seviyelere ulaşmıştır.

Etanol-benzin karışımı oluşturulurken faz ayrılmasının meydana gelmemesi için oldukça yüksek saflıkta etanol yakıtına ihtiyaç vardır. Yüksek saflıkta etanolün elde edilmesinin maliyetli olduğu durumlarda su içeriğinden arındırılmamış etanol uygulamalarına rastlamak mümkündür. Aşağıda bu uygulamaları konu alan çalışmalar özetlenmiştir.

Costave Sodré (2011), sıkıştırma oranının ve motor devrinin değiştirilmesinin dört zamanlı bir bir SI motorun performansı üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada yakıt olarak Eh22 ve Eh100 (sulu etanol) test yakıtlarını kullanmışlardır. Çalışmada bahsi geçen sulu etanol için ağırlık bazında %7.4'e kadar su içerebileceği bilgisi paylaşılmıştır (susuz etanol maksimum %0.7 su içerir). Sonuçlar her iki yakıt için de tüm devir sayılarında, yüksek sıkıştırma oranının silindir basıncını artırdığını ve böylece piston üzerinde yapılan tork, iş ve ortalama indike efektif basıncın arttığını göstermiştir. Sulu etanol kullanıldığında ise farkın biraz daha fazla gözlenebilir olduğu belirtilmiştir.

Melo ve ark. (2012) tarafından iki farklı yük, altı farklı devir sayısı ve iki farklı hava fazlalık katsayısı için gerçekleştirilen deneysel çalışmada, bir referans benzine farklı sulu etanol karışımları eklenmesinin motor performansı ve yanmış kütle oranı, yanma ısısı ve yanma süresi gibi yanma özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Benzine etanol ilave edilerek hazırlanan Eh30, Eh80, Eh100 yakıtlarının enerji verimliliği açısından yüksek sonuçlar sunduğu ortaya çıkmıştır. Genel olarak, CO emisyonları, etanolün CO_2 içerisindeki oksidasyona katkıda bulunan oksijen içeriğinin daha yüksek olması nedeniyle etanol ilavesiyle azaltılmıştır.

Wang ve ark. (2015) E0 ve E10 etanol benzin karışımının, sulu etanol benzin

karışımı olan Eh10 ile karşılaştırılması üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Üç farklı motor yükünde tüm test yakıtları egzoz emisyonlar ve özellikle yanma davranışları bakımından araştırılmıştır. Motorun yüksek yükte Eh10 yakıt ile çalıştırılması durumunda daha yüksek tepe basınçları ve ısı salım hızları elde edilmiştir. Eh10 yakıtı geniş bir yük aralığında NOx emisyonlarını artırırken, özellikle düşük yük koşullarında HC, CO ve CO_2 emisyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır. Çalışma sonuçlarında, özellikle yüksek yüklerde daha iyi bir yanma ile kendini gösteren Eh10 yakıtının benzinli motor uygulamaları için potansiyel bir alternatif yakıt olarak görülebileceği dile getirilmiştir.

2.3. Termoekonomik Analiz

Bu bölümde, biyoetanol ile yakıtlandırılan buji ateşlemeli motorlara ekserji analizi uygulamasını konu alan çalışmaların bir kısmı özetlenmektedir.

Sezer ve ark. (2008) motorun çalışmasını temsil eden iki bölgeli bir termodinamik çevrim modeli tasarlamışlardır. Oksijen içerikli yakıtların, ki bunlardan biri etanoldür, SI motorda kulanımını ekserjik yönden ele aldıkları çalışmada, oksijen içeriğinin tersinmezliklerin etkisini azalttığı görülmüştür. Bu yakıtlar için ekserji analizinin düşük entropi üretimi ile sonuçlandığı fakat sahip oldukları düşük alt ısıl değer nedeniyle motor gücünde azalmalar meydana geldiği ifade edilmiştir.

Caton (2010) kullanılan yakıtın değiştirilmesinin enerji ve ekserji açısından SI motorun çalışmasını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Yalnızca yakıtın değiştirilmesi ile ekserji yıkımının yakıtın ekserji akımının %8'i ile %21'i arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yakıtlar için motor performans sonuçlarının benzer oluşu, ekserji analizinin enerji analizinden daha belirleyici olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Yanma prosesi sırasında meydana gelen ekserji yıkımı, yakıt molekülünün karmaşıklığı ve yakıt molekülündeki oksijen atomlarının varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak etanolün alkanlara kıyasla daha düşük ekserji yıkımına neden olması, etanolün oksijen içerikli oluşu ile açıklanmıştır.

Caton (2012) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, farklı yakıtlarla çalıştırılan bir SI motor için yanma ile oluşan ekserji yıkımı akımı bazı motor çalışma ve dizayn parametrelerinin fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Çalışmada dikkate alınan motor çalışma parametreleri motor devri, yük, ekivalans oran, yanmanın başlangıcı, yanma süresi, yanma oranı parametreleri, EGR, giriş oksijen konsantrasyonu ve sıkıştırma oranıdır. Çalışma neticesinde, ekserji yıkımı için en etkili parametrelerin ekivalans oran, EGR ve giriş oksijen konsantrasyonu olduğu saptanmıştır.

Çizelge 2.2. SI motorlarında farklı test koşullarında benzin-biyoetanol karışımlarının kullanımına dair çalışmalar

Referans	Motor Tipi	Yakıt Karışımları	Test Koşulları/Değişken	Test Koşulları/Sabit	Değerlendirilen Parametreler
Abdel-Rahmanve Osman (1997)	1C, SI	E0, E10, E20, E30, E40	ε_s: 8:1, 10:1, 12:1	n:2150 rpm; AA: 10º ÜÖNö	P_c, ηt, P_i
Bayraktar (2005)	1C, 4S, WC, SI	E1.5, E3, E4.5, E6, E7.5, E9, E10.5, E12	ε_s:7.75:1, 8.25:1	n:1500 rpm AA:10º ÜÖNö WOT	P_c, T_C, CD, P_{eff}, ηy, föyt, CO, NO_x
Topgül ve ark. (2006)	1C, 4S, SI	E0, E10, E20 E40, E60	ε_s: 8:1, 9:1, 10:1 AA=10, 15, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 36 °KMA ÜÖNö	n:2000 rpm WOT	M_b, $T_{eg,}$ CO, HC
Yücesu ve ark. (2007)	1C, 4S, WC, SI	E10, E20, E40, E60	ε_s: 8:1, 9:1, 10:1,11:1, 12:1, 13:1 λ=0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1, 1.05, 1.1, 1.15, 1.2 AA: 10, 15, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 36°ÜÖNö	n:2000 rpm WOT	M_b, föyt
Celik (2008)	1C, 4S, AC, SI	E0, E25, E50, E75, E100	ε_s:6:1, 8:1, 10:1 n:1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 rpm	λ:1, WOT	P_b, föyt, P_c, HC, CO, CO_2, NO_x
Koç ve ark. (2009)	1C, 4S, SI	E0, E50, E85	ε_s:10:1,11:1 n: 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 rpm	λ: 1 WOT	M_b, P_b, föyt, CO, HC, NOx
Cooney ve ark. (2009)	1C, 4S, SI	E0, E20, E40, E60, E84	ε_s: 8:1, 10:1, 12:1, 14:1, 16:1	n:900 rpm λ:1 330 kPa imep,	MFB
Seshaiah (2010)	1C, AC, SI	E0, E10, E15, E25, E35	ε_s: 4.6:1, 6:1, 8:1, 9:1 1, 2, 3, 4 kgf yük	n:2400 rpm	ηt, ηv, CO, CO_2
Eyidogan ve ark. (2010)	4C, 4S, WC MPI, SI	E0, E5, E10	WP: 5, 10, 15, 20 kW VS: 80, 100 km/saat	ε:10.4	föyt, ηt, T_{eg}, P_c, HRR
Costave Sodré (2011)	4C, 4S, AC, SI	Eh22, Eh100	ε_s: 10:1, 11:1, 12:1 n:1500, 1750, 2000, 2250, 2500, 2750, 3000, 3250, 3500, 3750, 4000, 4250, 4500, 4750, 5000, 5250, 5500, 5750, 6000,6250, 6500 rpm	MBT ignition timing, WOT λ:1.11	M_b,bmep, P_b, föyt, ηt, $T_{eg,}$ ηv
Turner ve ark. (2011)	1C, 4S, SI	E0, E10, E20, E30, E50, E85, E100	AA: 19, 24, 29, 34, 39°ÜÖNö Farklı enjeksiyon stratejileri	$T_{h,d}$: 33 °C. n:1500 rpm, 3.4 bar imep	MFB, COV_{imep}, η_y, P_{maks}, T_{eg}, NOx, HC, η_i

Çizelge 2.2. SI motorlarında benzin-biyoetanol karışımlarının kullanımına dair çalışmalar, devamı

Schifter ve ark. (2011)	1c, SI	E0, E6, 10, E15, E20	λ:0.9, 1, 1.1	n:2000 rpm	P_b, föyt, HC, CO, NOx, HRR, MFB
Yoonve Lee (2012)	4c, SI	E0, E100	$T_{a,d}$= 10, 30, 50 °C n=1500, 200, 2500, 3000, 3500 rpm	WOT	ηv , P_c, HRR, föyt, P_b, bmep, CO, HC, NOx
Costagliola ve ark. (2013)	SI	E0, E10, E20, E30, E85	n:1750, 2050, 3000 rpm 20,50,80 Nm yük	AA:13–16° ÜÖNs	CD, HC, CO, NOx, PM, VOC, PAH
Canakci ve ark. (2013)	4c, 4S, SI	E5, E10,	VC: 80,100 km/s WP: 5, 10, 15 ve 20 kW	-	föyt, Tegz, CO, CO_2 HC, NOx
Balkive Sayin (2014)	1c, 4S, AC, SI	E0, E100	ε_s:8:1,8.5:1 ,9:1, 9.5:1	n:2400 rpm AA: 23 °KMA ÜÖNö, WOT, Φ:1.0	bmep, ηt, ηy, ηv, ,föyt, P_c, HRR, HC, CO, CO_2, NOx
Lattimore ve ark. (2016)	1c,4S	E0, E20	ε_s:10.7:1,10.9:1, 11.2:1,11.5:1	n:1500 rpm imep: 5 bar, P_i:15 MPa, AA: 280°ÜÖNö	P_c, T_c, MFB, T_{eg}, ηi, PM, PN, NOx, HC
Kim ve ark. (2015)	SI	Benzin+Etanol	ε_s:9.5:1, 13.3:1	WOT, n:1000 rpm λ:1	η_i, HRR, HC, CO, PN, PM
Melo ve ark. (2012)	4c, SI	Eh30, Eh50 and Eh80	λ=0.9, 1 Tork: 60, 105 Nm	-	P_c, HRR, MFB, föyt, ηt, CO, CO_2, NOx, HC, formaldehit, asetaldehit
Wang ve ark. (2015)	4c, SI	E0, E10, Eh10	N: 1500, 2250, 3875, 2250, 3875, 4500 rpm Yük: 20, 50, 100 Nm	n: 2000 rpm	P_c, HRR, NOx, HC, CO, CO_2

Doğan ve ark. (2017)'na ait olan çalışma bir SI motorunun benzin-etanol karışımları ile yakıtlandırılması durumunda motor performansı ve egzoz emisyonlarının nasıl değiştiğini ekserji-temelli bir yaklaşımla ele almıştır. Motor devri değiştirilerek gerçekleştirilen testler esnasında, maksimum enerji ve ekserji verimi 3000 devir/dk'da elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca tersinmezliklerin diğer kayıplara nazaran daha fazla ekserji yıkımına neden olduğuna, ikinci en büyük ekserji kaybı oranının, egzoz vasıtasıyla gerçekleştiği ve bu enerjinin geri kazanımı üzerinde çalışılması gerektiğine değinilmiştir.

Rostami ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada gaz kelebeğinin konumlarının benzin etanol kullanan bir motor için ekserji parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Tüm test yakıtları için, diğer pozisyonlar ile karşılaştırıldığında, gaz kelebeğinin tam açık olduğu pozisyonda silindir içi basıncın artması ve silindire giren daha fazla yakıtın etkisi ile, yakıtın enerji akımı en yüksek değerini almıştır. Yakıtın biyoetanol içeriğinin artmasının, daha iyi yanmaya neden olması yüksek ekserjik verimi de beraberinde getirmiştir.

Kiani Deh Kiani ve ark. (2018) biyoetanol-benzin karışımları kullanan bir motorun farklı giriş sıcaklığı ve ateşleme avansı değerleri için ekserji terimlerindeki değişimi (yakıtın kimyasal, termomekanik ekserjisi ve toplam ekserji) incelemişlerdir. Ateşleme avansının artması ile (20° KMA ÜÖNö), termomekanik ekserji artarken, kimyasal ekserji ve toplam ekserji azalmış, azalan giriş sıcaklığı ekserji parametrelerinde artışa neden olmuştur. Alkol içerikli yakıtların basit moleküler yapıları nedeniyle daha düşük ekserji yıkımına neden olduğu ifade edilmiştir. Yakıtın biyoetanol içeriğinin artmasının, daha iyi yanmaya sebep olması yüksek ekserjik verimi ile sonuçlanmıştır.

Sayıca sınırlı olan bu çalışmaların birçoğunda kullanılan etanolün hangi hammaddeden üretildiğinden bahsedilmez. Bu nedenle hammadde kaynağının araştırmalara dahil edilmesi ihtiyacı ortaya çıkar. Ayrıca veritabanlarında literatür aramalarına "termoekonomik analiz", "eksoergonomik analiz" veya "ekserjik maliyet" anahtarları dahil edildiğinde, sonuçlar Caliskanve Hepbasli (2011), Jenave Misra (2014), Caliskanve Mori (2017), Aghbashlo ve ark. (2018), Meisami ve ark. (2018)'na ait bazı dizel motor uygulamaları ile sınırlı kalmaktadır.

Tam bu noktada literatüre katkı sağlamak amacıyla, saf benzinin yanı sıra, E_5, E10, E15, E_{85} ve E100 ile gösterilen şeker pancarı kaynaklı etanol-benzin karışımları ve E5e, E10e, E15e, E85e ve E100e ile gösterilen atık ekmek kaynaklı etanol-benzin karışımları sabit devir sayısında farklı yük koşullarında çalıştırılan bir SI motorda test edilmiştir. Bu yakıt karışımlarından özellikle aynı oranlarda benzin içermekte olanların birbirleri ile karşılaştırılması sağlanarak, her iki etanol için kullanılabilirlik limitleri

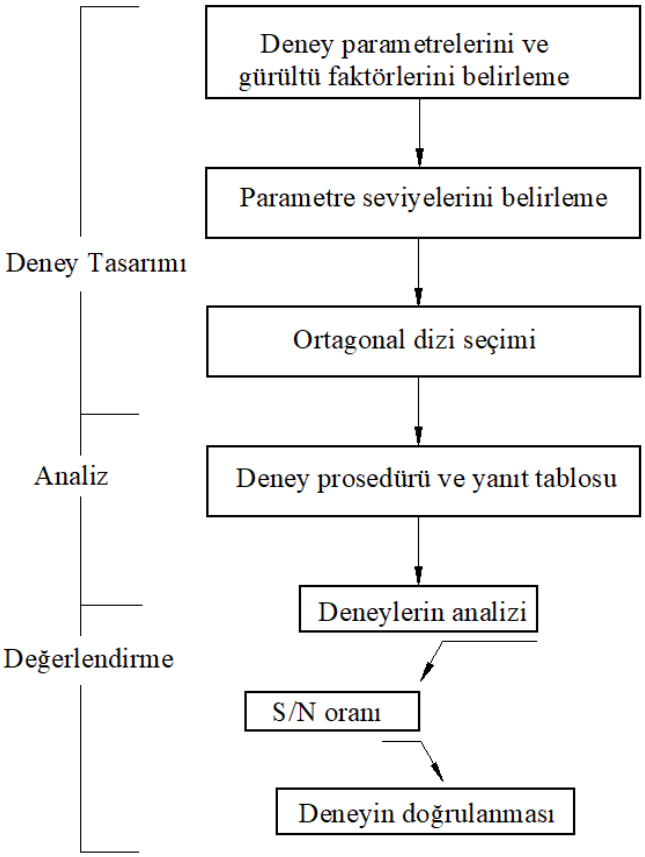
belirlenmiş, atık ekmek biyoetanolünün şeker pancarı biyoetanolü yerine kullanımı değerlendirilmiştir. Termodinamik analizin yanısıra termoekonomik analizinde incelemeye dahil edildiği çalışmada, yakıt karışımlarının ve motor yükünün bu analiz değişkenleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Taguchi Deney Tasarımı

Deneysel çalışmalarda, sonuçları etkileyen parametrelerin ve parametre seviyelerinin fazla oluşu çalışmacıların tüm kombinasyonları kapsayacak şekilde araştırma yapmalarını zorlaştırmaktadır. Robust Deney tasarımı veya bir başka deyişle Taguchi deney tasarımı, farklı deneysel parametrelerin, deney için en uygun seviyelerini belirleyen performans karakteristiği varyansı üzerindeki etkisini tespit etmek maksadıyla Genichi Taguchi tarafından geliştirilen istatistiksel bir yaklaşımdır (Balkive Sayin, 2014). Bu yaklaşım deneysel çıktıların ortalamasının istenen bir hedefte olması ve bu hedef etrafındaki değişkenliğin minimum olmasını sağlamak için deney parametrelerinin uygun seviyelerinin seçilmesi esasına dayanır (Bervian ve ark., 2018). Asgari deney sayısının ve bu deneylere ait optimum şartların belirlenmesi için kullanılan Taguchi Deney Tasarımı Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Taguchi deney tasarımı akış şeması

3.1.2. Test Yakıtları

Taguchi Deney Tasarımına göre atık ekmek kullanılarak üretilen yakıt numuneleri, Şekil 3.2'de resmedilirken, her bir numuneye ait yakıt özellikleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur.



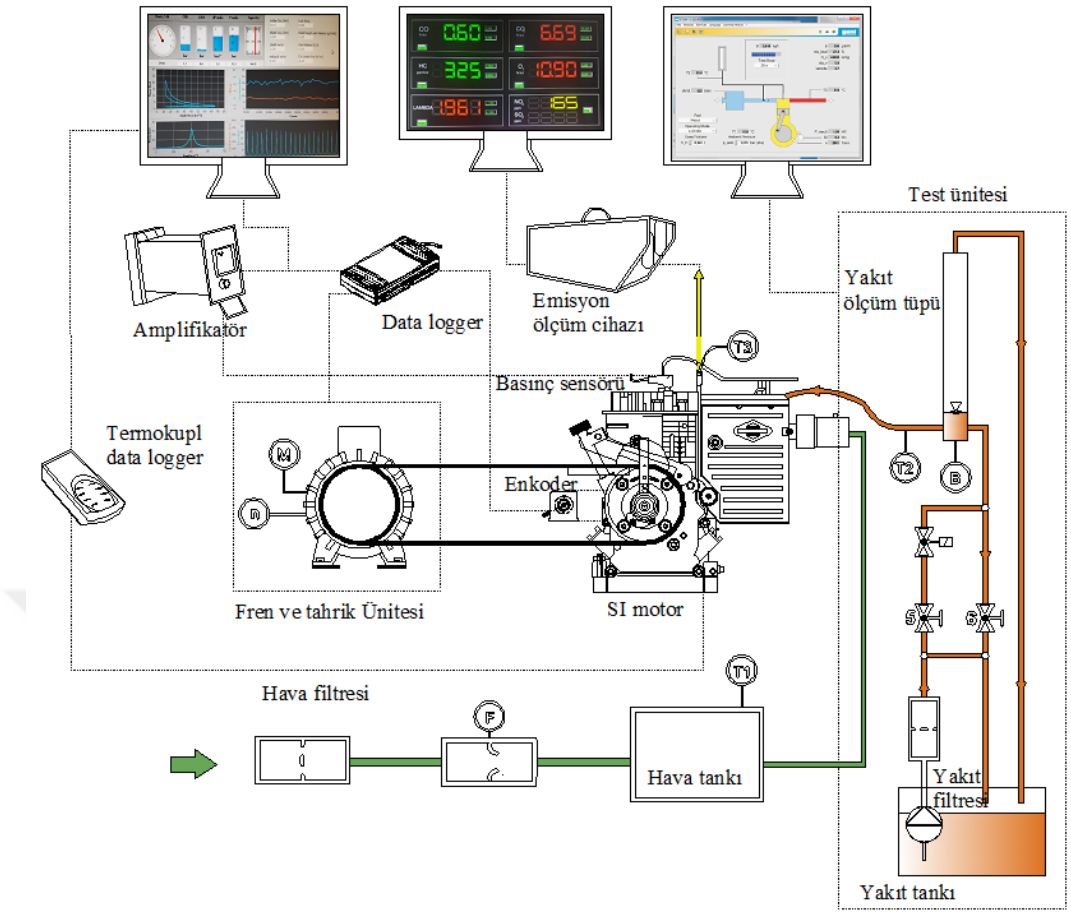
Şekil 3.2. Deney numuneleri

Çizelge 3.1. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Deney numarası	Yoğunluk (g/m^3)	Alt ısıl değer (MJ/kg)	Kinematik viskozite (40 °C' de mm/s^2)
1	0.84145	23.253	1.4531940
2	0.86047	21.312	1.5738186
3	0.85678	22.049	1.5533398
4	0.86795	20.388	1.6061118
5	0.87125	19.959	1.6208337
6	0.87853	19.283	1.6502775
7	0.86664	20.512	1.5999381
8	0.84482	23.117	1.4707653
9	0.86119	21.153	1.5852162

3.1.3. Motor test düzeneği

Motor testleri için kullanılan ve Selçuk Üniversitesi, Otomotiv Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan ve şematik görünümü Şekil 3.3'de gösterilen deney düzeneği, test motoru, tahrik ve fren ünitesi, modüler test standı, emisyon gazı ölçüm cihazı, terokupl dataloger ve silindir basıncı ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanlarını ise silindir basınç sensörü, amplifikatör, enkoder, datalogger oluşturmaktadır. Deney düzeneğinde Febris yanma analizi yazılımı arayüzü, Gunt yazılımı arayüzü ve egzoz gazı ölçüm cihazı arayüzü resmedilmiştir.



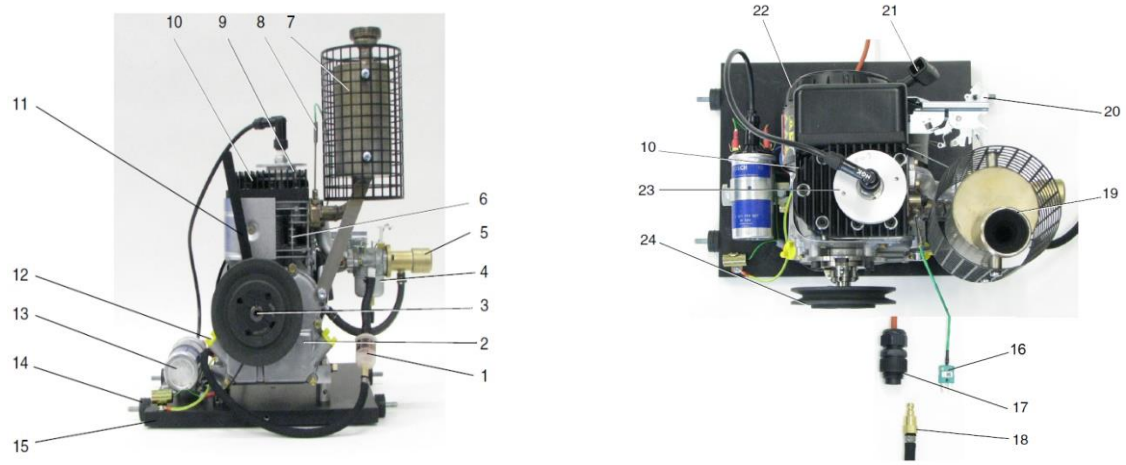
Şekil 3.3. Test düzeneğinin şematik görünümü

3.1.3.1. Test motoru

Çalışma esnasında kullanılan tek silindirli dört zamanlı Gunt CT152 model benzinli motora ait teknik özellikleri Çizelge 3.2'de ve motor elemanlarının yerleşimi ise Şekil 3.4'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Test motorunun teknik özellikleri (GUNT, 2016c)

Model	Gunt CT 152
Motor tipi	Tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, dış karbüratörlü, benzinli motor
Silindir sayısı	1
Çap x strok	65.1 mm x 44.4 mm
Biyel kol uzunluğu	79.55 mm
Sıkıştırma oranı	10:1, 8.5:1, 7:1 (orijinal), 5.5:1, 4:1
Maksimum motor gücü	1.2 kW
Maksimum motor torku	4.5 Nm
Ateşleme zamanlaması	Ayarlanabilir ateşleme zamanlaması (10° ÜÖNs- 40° ÜÖNö)
Subap zamanlamaları	EmAA ◦0 KMA EmKA ◦225 KMA EgAA ◦470 KMA EgKA 0 KMA



1	Filtre	10	Silindir kapağı	16	Sıcaklık sensörü hattı
2	Krank muhafazası	11	Ateşleme ayar kolu	17	Ateşleme hattı
3	Çıkış mili	12	Yağ doldurma nozulu	18	Yakıt hattı
4	Karbüratör	13	Ateşleme bobini	19	Egzoz hortumu bağlantısı
5	Hava hortumu bağlantısı	14	Titreşim zayıflatıcı	20	Jikle ve hız regülatörü
6	Silindir gömleği	15	Taban plakası	21	Bobinli marş
7	Egzoz susturucusu			22	Volan (gizli)
8	Egzoz gazı sıcaklık sensörü			23	Giriş
9	Girişler için açıklıklar			24	Kasnak

Şekil 3.4. Test motoru (GUNT, 2016c)

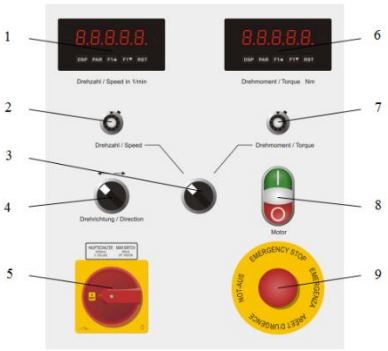
3.1.3.2. Universal Tahrik ve Fren Ünitesi

Motor testleri sırasında motorun yüklenmesi ve motor devrinin ayarlanabilmesi için kullanılan Gunt HM 365 Universal Tahrik ve Fren Ünitesi Şekil 3.5'de, üniteye ait kontrol ve gösterge elemanları Şekil 3.6'da ünitenin teknik özellikleri ise Çizelge 3.3'de sunulmuştur.



1	Bağlantı Elemanları
2	Fan
3	V kayış kasnağı için tutturma tertibatı
4	V kayışı için koruyucu başlık
5	İzleme penceresi
6	Ölçüm birimi bloğu için raf
7	Kontrol ve gösterge elemanları
8	V kayışı için gergi mekanizması

Şekil 3.5. Universal tahrik ve fren ünitesi (GUNT, 2016a)



1 Dijital hız göstergesi
2 Hız ayarı için potansiyometre
3 Ön ayar anahtarı
4 Dönme yönü için anahtar
5 Ana şalter
6 Dijital tork göstergesi
7 Tork ayarı için potansiyometre
8 Motor anahtarı
9 Acil durum anahtarı

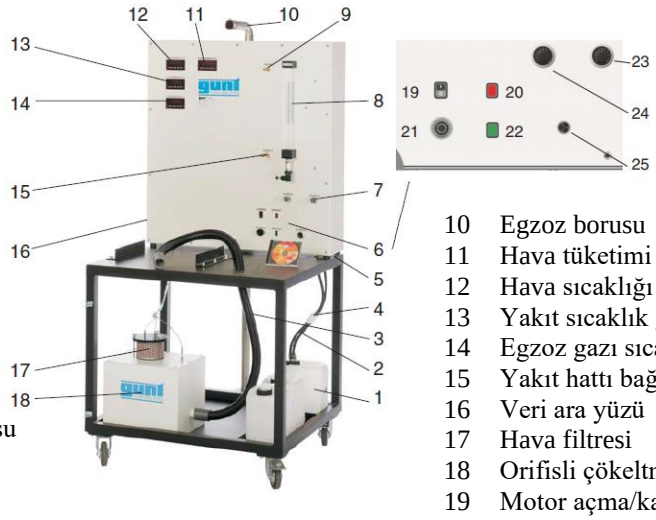
Şekil 3.6. Universal tahrik ve fren ünitesinin kontrol ve gösterge elemanları (GUNT, 2016a)

Çizelge 3.3. Universal tahrik ve fren ünitesinin teknik özellikleri (GUNT, 2016a)

Model	Gunt HM 365
Güç kaynağı (güç)	6 kW
Motor	
Motor tipi	Kafes rotorlu asenkron motor
Güç çıkışı	2.200 W
Hız	~300 - 3000 dev/dk
Tork	maks. 12 Nm
Verim	%83.2
Ölçüm aralıkları	0 – 5000 dev/dk

3.1.3.3. Modüler Test Standı

Bir mobil laboratuvar arabası üzerine monte edilmiş modüler test standı, stant üzerindeki kontrol ve gösterge elemanları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



1 Pompalı yakıt deposu
2 Yakıt hortumu
3 Hava hortumu
4 Yakıt Filtresi
5 Titreşim damperleri
6 Kontrol elemanları
7 Yakıt beslemesi için manuel valf
8 Yakıt ölçüm tüpü
9 Geri akış hattı bağlantısı

10 Egzoz borusu
11 Hava tüketimi göstergesi
12 Hava sıcaklığı göstergesi
13 Yakıt sıcaklık göstergesi
14 Egzoz gazı sıcaklık göstergesi
15 Yakıt hattı bağlantısı
16 Veri ara yüzü
17 Hava filtresi
18 Orifisli çökeltme tankı
19 Motor açma/kapama anahtarı
20 Yakıt pompası açma / kapama anahtarı
21 Ateşleme kablosu için soket
22 Egzoz gazı termokuplu için soket
23 Yakıt ölçüm tüpünün dolumu için valf
24 Yakıt ölçüm tüpünün tahliyesi için valf
25 Yakıt pompasını erkinleştiren anahtar

Şekil 3.7. Modüler test standı, kontrol ve gösterge elemanları (GUNT, 2016b)

1.2 kW gücündeki tek silindirli motorun çalışması sırasında oluşacak titreşimleri sönümleyecek şekilde tasarlanmış test standı elektronik sensörler tarafından ölçülen hava sıcaklığı, yakıt sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı verilerini dijital olarak göstermektedir. Hava tüketimi için de bir dijital göstergeye sahip olan stant, yakıt tüketiminin bir yakıt ölçüm tüpü ve kronometre vasıtasıyla hesaplanmasına imkân tanır. Çizelge 3.4'de modüler test standı elemanlarının ölçüm aralıkları verilmiştir.

Çizelge 3.4. Modüler test standı elemanlarının ölçüm aralıkları (GUNT, 2016b)

Modüler test standı elemanları	Öçüm aralıkları
Ortam sıcaklığı sensörü	0- 100 ° C
Yakıt sıcaklığı sensörü	0- 100 ° C
Egzoz gaz sıcaklığı sensörü	0- 1000 ° C
Hava tüketimi	0 – 333 L/dk
Yakıt pompası	Max. 130 L/dk
Yakıt tüketimi için basınç sensörü	0 – 100 mbar
Hava tüketimi için fark basıncı sensörü	0 – 5 mbar

3.1.3.4. Emisyon gazı ölçüm cihazı

Egzoz emisyonlarının ölçümü için Mobydic 5000 marka egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.8'de verilen egzoz ölçüm cihazına ait emisyonlar, ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Cihaz her çalıştırıldığında kendini otomatik olarak sıfırladıktan sonra ölçüm yapmaktadır.



a) Egzoz emisyon cihazı b) Egzoz emisyon cihazı arayüzü

Şekil 3.8. Egzoz emisyon ölçüm cihazı, arayüzü

Çizelge 3.5. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri

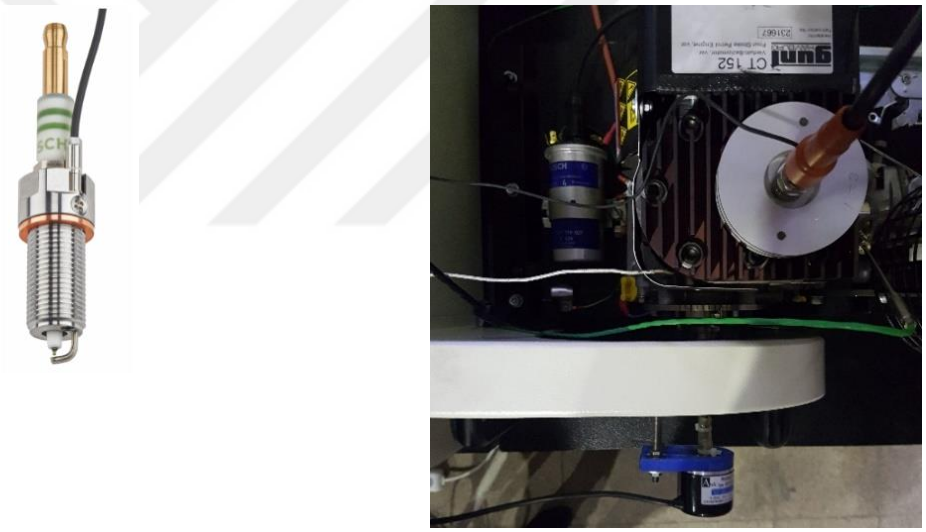
Emisyon	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (%hacim)	0-10	0.01
CO_2 (%hacim)	0-20	0.01
HC (ppm)	0-2000	1
O_2 (%hacim)	0-21	0.01
NOx (ppm)	0-5000	1
Lambda	0.5-2.0	0.001

3.1.3.5. Silindir basınç sensörü

Silindir içi basınç verileri bujiye entegre edilerek, uygulanan basıncın elektrik gerilimene dönüştürülmesi prensibine göre çalışan Kistler marka 6118C tipi piezo-elektrik basınç sensörü yardımıyla ölçülmüştür. Basınç sensörünün konumu Şekil 3.9'da basınç sensörünün teknik özellikleri ise Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Basınç sensörünün teknik özellikleri (Kistler, 2018)

Marka – Model	Kistler – 6118C
Tip	Piezoelektrik
Ölçüm aralığı, bar	0… 200
Çalışma sıcaklığı, °C	-20…350
Hassasiyet, pC/bar (0…150 bar, 200 °C'de)	-10.29
Doğal frekans, kHz	65
Aşırı yükleme, bar	250

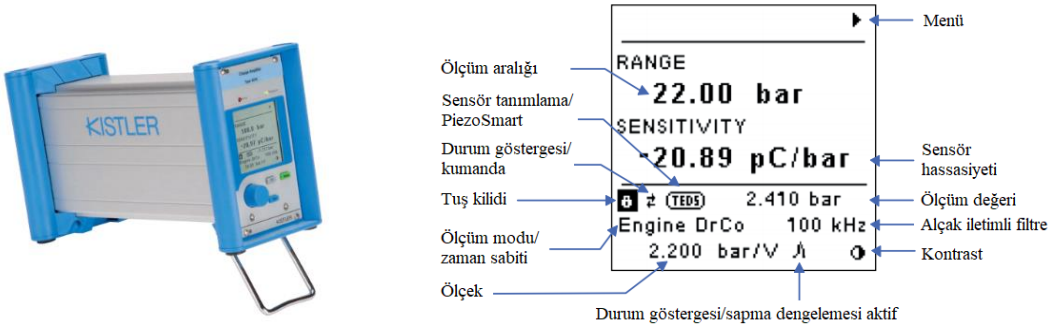


a) Basınç sensörü (Kistler, 2018) b) Basınç sensörünün konumu

Şekil 3.9. Basınç sensörü ve konumu

3.1.3.6. Amplifikatör

Amplifikatör, piezoelektrik basınç sensörü tarafından üretilen voltaj sinyalini veri toplama sisteminde kullanılabilecek biçimde basınç sinyaline dönüştüren bir sinyal koşullandırma elemanıdır. Silindir içi basıncının ölçülmesi için kullanılan Kistler 5018A amplifikatör ve gösterge elemanları Şekil 3.10'da, amplifikatörün teknik özellikleri ise Çizelge 3.7'de sunulmuştur.



a) Amplifikatör b) Amplifikatör gösterge elemanları

Şekil 3.10. Amplifikatör ve gösterge elemanları (Kistler, 2009)

Çizelge 3.7. Amplifikatörün teknik özellikleri (Kistler, 2009)

Marka – Model	Kistler – 5018A
Ölçüm aralığı, pC	2 − 2200000
Kanal sayısı	1
Çıkış sinyali, volt	±10
Çalışma sıcaklığı, °C	0 − 50
Frekans, kHz	0 − 200
Aşırı yükleme, %FS	±110

3.1.3.7. Enkoder

Motorun her bir çevrimi başına krank mili açısına (°KMA) bağlı olarak veri alınabilmesi için kullanılan Atek ARC S 50 model enkoder ve krank mili çıkışına bağlantısı yapılan enkoderin konumu Şekil 3.11'de, enkoderin teknik özellikler ise Çizelge 3.8'de verilmiştir.



a) Enkoder (Atek, 2019) b) Enkoderin konumu

Şekil 3.11. Enkoder ve gösterge elemanları

Çizelge 3.8. Enkoderin teknik özellikleri (Atek, 2019)

Marka – Model	Atek-ARC S 50
Çalışma hızı, rpm	6000
Çözünürlük, pulse	60…20000
Çalışma sıcaklığı, °C	-25…85
Çıkış frekansı, kHz	300

3.1.3.8. Dataloger

Basınç sensörü, enkoder ve amplifikatörden gelen sinyallerin toplanması için kullanılan veri toplama kartı veya bir diğer adıyla datalogger Şekil 3.12'de, Dataloger'ın teknik özellikleri ise Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Dataloger (National Instruments, 2020)

Çizelge 3.9. Dataloger'ın teknik özellikleri (National Instruments, 2020)

Marka – Model	National Instruments USB 6210
Zamanlama hassasiyeti	50 ppm örnekleme hızı
Çözünürlük	16 bit
Çalışma sıcaklığı, °C	0 ºC to 45 ºC
Maksimum voltaj aralığı, volt	±10
Kanal sayısı	8 diferansiyel veya 16 tek uçlu

3.1.3.9. Termokupl data loger

K tipi termokupl ile bağlantılandırılarak motor yüzey sıcaklığı ölçümü yapılmış, Termokupl data loger yardımıyla USB bağlantısı kurulan bilgisayar ekranından sıcaklık verileri takip edilmiştir. Termokupl datalogger'a ait görünüş ve yazılım Şekil 3.13'de, teknik özellikleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.



a) Termokupl data loger b) Termokupl data loger yazılımı arayüzü

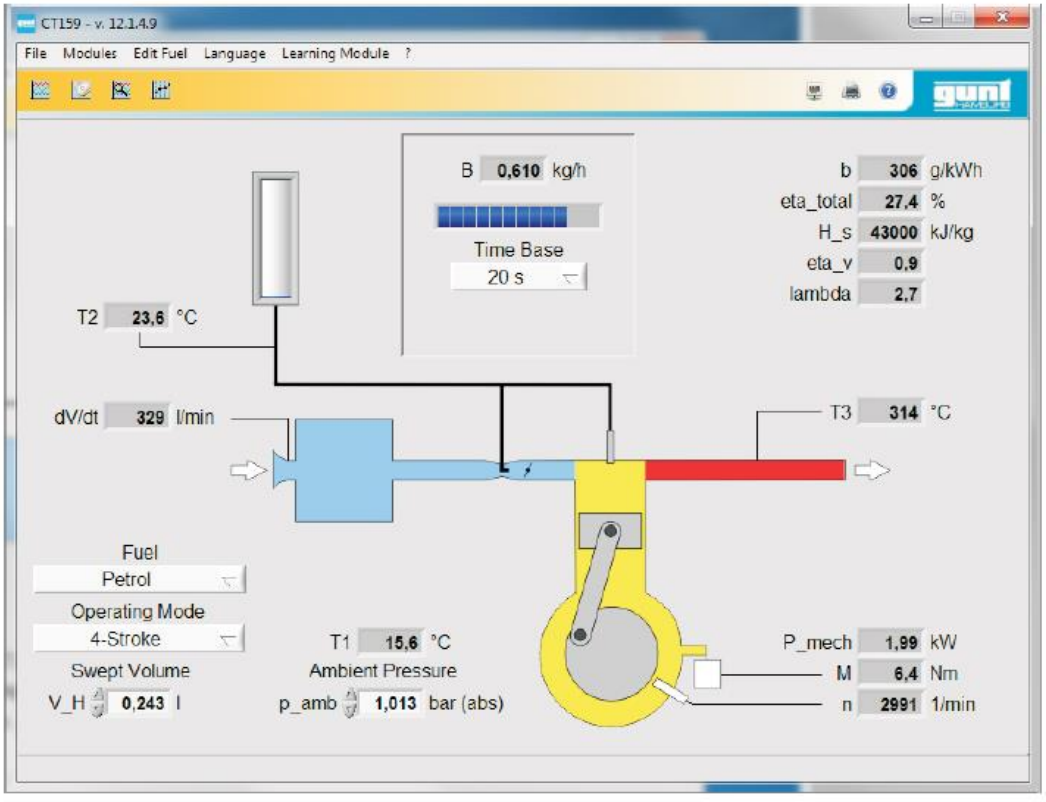
Şekil 3.13. Termokupl Dataloger ve yazılım arayüzü (Picotech, 2020)

Çizelge 3.10 Termokupl data logger'ın teknik özellikleri (Picotech, 2020)

Marka – Model	PICO tc-08
Ölçüm aralığı	-270… 1820 °C
Zamanlama hızı	Saniyede 10 ölçüm
Çözünürlük	20 bit
Desteklediği termokupl tipleri	B, E, J, K, N, R, S, T

3.1.3.10. Yazılım

Motor test düzeneği ile senkronize şekilde çalışan ve motor performansına dair verilerin anlık olarak okunabildiği GUNT yazılımı arayüzü Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Fren özgül yakıt tüketimi, havanın hacimsel debisi, egzoz gaz sıcaklığı vb. test verileri test ünitesinin üzerinden anlık olarak okunabileceği gibi, yazılım üzerinden okunup, kaydedilebilir. Silindir basıncı sensörü ile her 1°KMA için ölçülen basınç verileri, arayüzü Şekil 3.15'de verilen NEL Elektronik firmasına ait Febris yanma analizi yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Test ortamında gerek sistematik hatalardan ötürü gerek de yanma esnasında silindir içindeki kompozisyondaki bölgesel farklılıklar, akışkan hareketi vb. etkilerden ötürü meydana gelen çevrimsel farklar, Savitzky Golay filtreleme metodu ile hatalı çevrimlerin filtrelenmesi sonucu en aza indirilmiştir. Analizler filtrelenen çevrimlerin ortalamaları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14. Gunt yazılımı arayüzü (GUNT, 2016b)



Şekil 3.15. Febris yanma analizi yazılımı arayüzü

3.2. Metot

3.2.1. Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi deney tasarımı, tasarıma ait değişkenleri kontrol faktörleri ve gürültü faktörleri olarak ikiye ayırır. Kontrol faktörleri, deney sürecinde kontrolü sağlanacak parametreleri temsil ederken, gürültü faktörleri (ortam sıcaklığı gibi) kontrol edilemeyen, deney tasarımı için kontrol faktörleri kadar önem arzetmeyen, kontrol edilmesi pratikte zor veya pahalı olan değişkenleri temsil etmektedir. Taguchi deney tasarımının temel amacı gürültü faktörlerinden en az şekilde etkilenen, kontrol faktörlerinin hem zaman hem de maliyet açısından etkin olduğu deney tasarımları geliştirilmesine olanak sağlamaktır. Akış şemasının ilk adımında tasarımı yapılan deneydeki parametre ve seviye sayılarına bağlı olarak istatistiki bilgiler elde etmek için gerekli minimum deney sayısı Çizelge 3.11'de verilen ortagonal dizi seçim tablosu kullanılarak belirlenir. Ortogonal dizi için gösterim metodu $La(n^w)$ şeklinde olup bu gösterimde L ortogonal dizinin Latin kareleri, a deney sayısı, n faktör seviyeleri sayısı ve w kontrol faktörlerinin sayısını ifade etmektedir (Tseng ve ark., 2013).

Taguchi Deney tasarımında analiz aşamasında kullanılan temel kriter ölçülecek sinyalin (S) gürültü faktörüne (N) oranını temsil eden ve logaritmik bir fonksiyon olan sinyal-gürültü oranıdır. S/N her bir deneyin tüm tekrarlarının ortalamasını ve varyansını birlikte sunan hem matematiksel hem de istatistiksel bir orandır.

Seviye Sayısı

2		**3**		**4**		**5**	
P= 2, S=2 P= 3, S=2	**L4**	P= 2, S= 3 P= 3, S= 3 P= 4, S= 3	**L9**	P= 2, S=4 P= 3, S=4 P= 4, S=4 P= 5, S=4	**L'16**	P= 2, S=5 P= 3, S=5 P= 4, S=5 P= 5, S=5 P= 6, S=5	**L25**
P= 4, S=2 P= 5, S=2 P= 6, S=2 P= 7, S=2	**L8**	P= 5, S= 3 P= 6, S= 3 P= 7, S= 3 P= 8, S= 3	**L18**	P= 6, S=4 P= 7, S=4 P= 8, S=4 P= 9, S=4 P=10, S=4	**L'32**	P= 7, S=5 P= 8, S=5 P= 9, S=5 P= 10, S=5 P= 11, S=5 P= 12, S=5	**L50**
P= 8, S=2 P= 9, S=2 P=10, S=2 P=11, S=2	**L11**	P= 9, S= 3 P=10, S= 3 P=11, S= 3 P=12, S= 3 P=13, S= 3	**L27**				
P=12, S=2 P=13, S=2 P=14, S=2 P=15, S=2	**L16**	P=14, S= 3 P=15, S= 3 P=16, S= 3 P=17, S= 3 P=18, S= 3 P=19, S= 3 P=20, S= 3 P=21, S= 3 P=22, S= 3 P=23, S= 3	**L36**				
P=16, S=2 P=17, S=2 P=18, S=2 P=19, S=2 P=20, S=2 P=21, S=2 P=22, S=2 P=23, S=2 P=24, S=2 P=25, S=2 P=26, S=2 P=27, S=2 P=28, S=2 P=29, S=2 P=30, S=2 P=31, S=2	**L32**						

Parametre Sayısı

Çizelge 3.11. Taguchi ortagonal dizi seçim tablosu (Gökçeve Taşgetiren, 2009)

Taguchi deney tasarımında kullanılan en küçük en iyi, en büyük en iyi, nominal en iyi olmak üzere üç tip S/N fonksiyonu vardır.

$$\bar{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} y_i \tag{3.1}$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2 \tag{3.2}$$

Denklem 3.1-3.2 kullanılarak hesaplanan S/N fonksiyonları Denklem 3.3-3.5'de verilmiştir.

En küçük en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \tag{3.3}$$

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10\log\left(\frac{(\overline{y})^2}{S^2}\right) \tag{3.4}$$

En büyük en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right) \tag{3.5}$$

N, y, S^2 ve $\bar{y}$ sırasıyla gözlem sayısını, gözlem değerini, varyansı ve ortalamayı temsil etmektedir. S/N sinyal gürültü oranının yüksek olması, yanıtlardaki değişkenliklerin ana nedeni olan ortam sıcaklığı, nem gibi çeşitli gürültü faktörleri ile etkileşimin o denli az olacağının bir ifadesidir. Yani her bir S/N oranı gürültü faktörlerinin etkilerini en küçüklemeye hizmet ederek, en yüksek S/N oranını veren optimum seviyelerini belirler.

3.2.2. Biyoetanol Üretimi

Biyoetanol üretim prosesi, her ne kadar mayaların glukoz gibi altı karbonlu molekülleri etanol gibi iki karbonlu bileşenlere katabolize edebilme yeteneğine dayandırılsa da aslında süreci etkileyen birçok faktör vardır (Mohd Azhar ve ark., 2017). Hammadde, sıcaklık, pH, şeker konsantrasyonu, maya miktarı, fermantasyon süresi bunlardan sadece birkaçıdır ve biyoetanol üretim sürecine etkileri bu faktörlerin operasyonel optimizasyonunu gerektirir. Örneğin; yüksek glukoz konsantrasyonu yüksek etanol ürerimi için gereklidir fakat substrat konsantrasyonunun yüksek olması ozmotik basıncın etkisiyle fermantasyon sürecini inhibe edebilir, fermantasyon verimi olumsuz yönde etkilenebilir (Özgen, 2009). Yine Saccharomyces cerevisiae aktivitesi, belirli bir noktadan sonra alkollerin mevcudiyeti neticesinde engellenebilir.

Gıda atıkları gibi ekmek atıkları da genellikle polisakkarit yapıda olduğundan yüksek miktarlarda etanol elde edilebilmesi için hidrolize edilmeye ihtiyaç duyarlar. Biyoetanol üretim süreci, kimyasal açıdan değerlendirildiğinde her ne kadar hidroliz ve fermantasyonun baskısı altında olsa da bu iki temel aşama bile her bir prosesin alt parametrelerinin değişiminden etkilenir. Bu çalışmada biyoetanol üretimi esnasında, enzim konsantrasyonu, Saccharomyces cerevisiae konsantrasyonu ve fermantasyon süresi için Çizelge 3.12'de verilen varyasyonların yakıt özelliklerine etkisini belirlemek

için yapılması gereken minimum deney sayısı ve uygun deney şartları Taguchi deney tasarımı yöntemi ile belirlenerek, Çizelge 3.13'de, L9 ortagonal dizisi ile sunulmuştur.

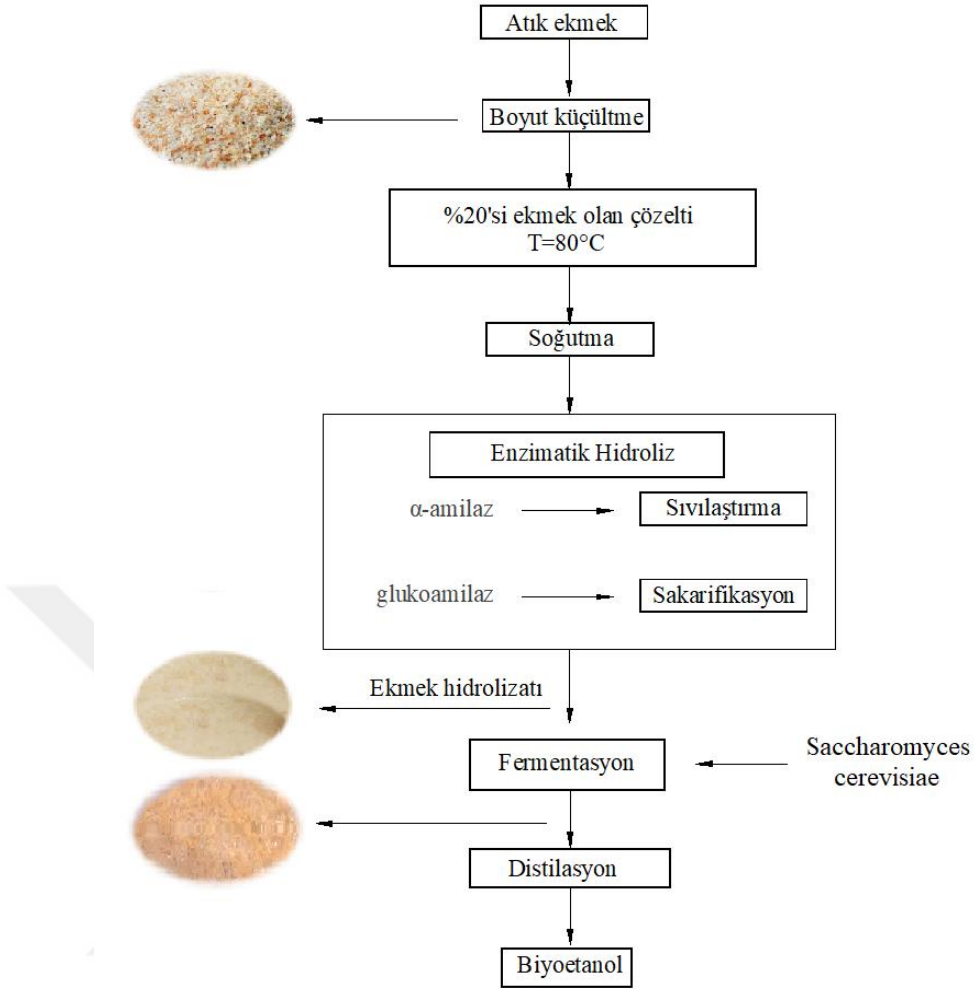
Çizelge 3.12. Test parametreleri ve seviyeleri

Parametreler	Sembol	Seviye		
		1	2	3
Enzim konsantrasyonu (%g/g kuru madde)	A	0.2	0.4	0.6
S. cerevisiae konsantrasyonu (%g/g kuru madde)	B	1	2	3
Fermantasyon süresi (saat/gün)	C	24	48	72

Çizelge 3.13. Test parametreleri ve seviyeler için doldurulan L9 ortagonal dizi

Deney numarası	Enzim konsantrasyonu (%g/g kuru madde)	S. cerevisiae konsantrasyonu (%g/g kuru madde)	Fermantasyon süresi (saat/gün)
1	0.2	1	24
2	0.2	2	48
3	0.2	3	72
4	0.4	1	24
5	0.4	2	72
6	0.4	3	24
7	0.6	1	72
8	0.6	2	24
9	0.6	3	48

Yukarıda belirtilen deney şartları baz alınarak, atık ekmekten biyoetanol üretimi Şekil 3.16'da verilen adımlara göre gerçekleştirilmiştir. Biyoetanol üretim prosesinin ilk aşaması olan ön muamele işleminin gerçekleştirilmesi için süreci etkilememesi açısından küf barındırmayan atık ekmeğin temini çeşitli işletmelere dağıtım yapan bir işletmeden yapılmıştır. Yaklaşık olarak 48 saat oda sıcaklığında hava ile temas halinde bırakılarak bayatlaması ve kuruması beklenen atık ekmek bir öğütücü yardımıyla küçük parçalara ayrılıp ekmek unu haline getirilmiştir. Daha sonra %20 oranında ekmek içerecek şekilde oluşturulan ekmek çözeltileri, sıcaklığı 80°C'ye ulaşana kadar sıcak su ile muamele edilerek nişasta çözeltisi oluşturulmuştur. Soğutulan çözeltilere ekmeğin kuru ağırlığının %0.2, 0.4 ve 0.6'sı oranlarında α-amilaz ve amiloglukosidaz/glukoamilaz enzimleri ilave edilmiştir. Sabit sıcaklıkta 3 saat bekleme süresinin ardından enzimatik hidroliz neticesinde elde edilen ekmek hidrolizatları yine ekmeğin kuru ağırlığının %1, 2, 3'ü oranlarında Saccharomyces cerevisiae ilavesi ile havasız kapalı (gaz çıkışını sağlayabilecek şekilde) 5 lt'lik kaplarda karanlık bir ortamda 25-30^{o}C'de 24, 48, 72 saat/gün fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon neticesinde oluşturulan biyoetanolün içeriğinde bulunan sudan arındırılması için distilasyon işlemi yaklaşık olarak 80°C'de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Atık ekmekten biyoetanol üretim prosesi

3.2.3. Test yakıtlarının hazırlanması

Çalışmanın motor testleri aşamasında kullanılacak temel yakıt kurşunsuz benzin olup ticari bir petrol istasyonundan satın alınmıştır. Hem ekmek atıklarından fermantasyon yoluyla elde edilen biyoetanolün (Ee), hem de Konya Şeker Fabrikası Çumra Şeker Entegre Tesislerinden temin edilen şeker pancarı biyoetanolünün (E) benzinle hacimce harmanlandığı oranlar ve oluşan yakıt karışımlarının kısa gösterimleri Çizelge 3.14'de verilmiştir. Bu yakıt karışımlarının analizlerinin bir kısmı TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü'nde yaptırılmıştır.

Günümüzde pompadan satılan benzinin %5 etanol içermesi %5 etanol içeren yakıt karışımının tez kapsamına alınmasına neden olmuştur. Bununla beraber, ölçümler esnasında %15'e kadar biyoetanol ilavesinin motor performansını geliştirmesi ve %20 etanol ilavesi ile performansta azalmalar saptanması %10 ve %15 karışım oranlarının

belirlenmesinde etkin olmuştur. %85 biyoetanol içeren yakıt karışımının tez kapsamına alınmasının nedeni ise dünya genelinde özellikle de ABD'de trafikte E85 ile çalışan araçların mevcudiyetidir. Motorun saf etanol ile çalışması durumunda motora ilk hareketin verilmesinin zor olmasından dolayı, E85 yakıtı alternatif yakıt olarak yaygın bir kullanıma sahiptir.

Çizelge 3.14. Test yakıtlarının içerikleri ve yakıt özellikleri

Test yakıtlarının İçerikleri (%v/v)	E0	E5	E10	E15	E85	E100	E5e	E10e	E15e	E85e	E100e
Benzin	100	95	90	85	15	-	95	90	85	15	-
Şeker p. biyoetanolü	-	5	10	15	85	100	-	-	-	-	-
Atık ekmekbiyoetanolü	-	-	-	-	-	-	5	10	15	85	100
Özellikler											
Kimyasal Formül	$C_{6.97}H_{14.02}$					C_2H_5OH					$C_{1.80}H_{5.60}O$
Saflık (%)	-					100					90.00
Oksijen içeriği (%)	-					38.45					34.35
Yoğunluk (kg/m^3, 15ºC)	729.15	735.3	738.2	740.7	782.9	788.1	741.8	743.2	748.8	831.9	838.22
Alt ısıl değer (MJ/kg)	42.93	42.11	41.30	40.52	29.16	26.73	36.12	35.79	34.61	26.92	24.23
K. viskozite (mm^2/s, at 40 ºC)	0.567	0.600	0.623	0.655	1.106	1.193	0.606	0.653	0.687	1.353	1.480
RON	95.5					104.8					>120
MON	85.8					89.3					>120
Stokiyometrik H/Y	14.7	14.6	14.4	14.3	10.5	9	14.6	14.4	14.3	10.3	8.6

3.2.4. Motor testleri

Yakıt karışımlarının hazırlanmasının akabinde motor testlerine başlamadan önce, yağ seviyesi kontrol edilmiş, motorun çalışma sıcaklığına ulaşması sağlanmış, deneyler sürerken bir fan yardımıyla motor sıcaklığının çok fazla yükselmesi engellenmiştir. Deneyler esnasında, veri alınmadan önce emisyon gazı ölçüm cihazının kalibrasyonu için bir süre beklenmiştir. Motor testleri motorun önce benzin yakıtı ile sonrasında biyoetanol-benzin karışımları ile çalıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Yakıt deposunu bir önceki deneyde test edilen yakıttan tamamen arındırmak için motorun durana kadar çalışması sağlanmıştır. Güvenilir sonuçlar elde etmek için, her test koşulunda üç kez tekrarlanan test sonuçlarının ortalamaları değerlendirilmeye alınmıştır.

Tam yük deneyleri için öncelikle gaz kelebeği konumu tam gaz durumuna getirilmiştir. Motor yavaş yavaş yüklenerek Universal Fren ve Tahrik Ünitesi'nin devir sayısını düşürerek gösterdiği tepki 2000-3200 rpm devir aralığında 100 rpm aralıklarla

not edilmiştir. Motor torkunu maksimum yapan devir sayısı 2500 rpm'de elde edilmiş olup, motorun kısmi yük deneyleri sırasında bu devir sayısı referans alınmıştır. 2500 dev/dk'nın seçilmesindeki temel amaç motorun çalışma aralığında motor torku ile ilgili maksimum faydayı sağlamaktır. Kısmi yük deneyleri esnasında sıkıştırma oranı ve ateşleme avansı sırasıyla 7, -25 °KMA'ya sabitlenmiştir. Elektrikli dinamometre üzerinden motor torku 2 Nm'den 4 Nm'ye kadar 0.5 Nm aralıklarla değiştirilmiştir. Her bir yük değerinde gaz kelebeği açıklığına müdahale edilerek, 2500 rpm'de ölçüm alınması sağlanmıştır.

3.2.5. Deney Düzeneğindeki Ekipmanların Ölçüm Prensipleri

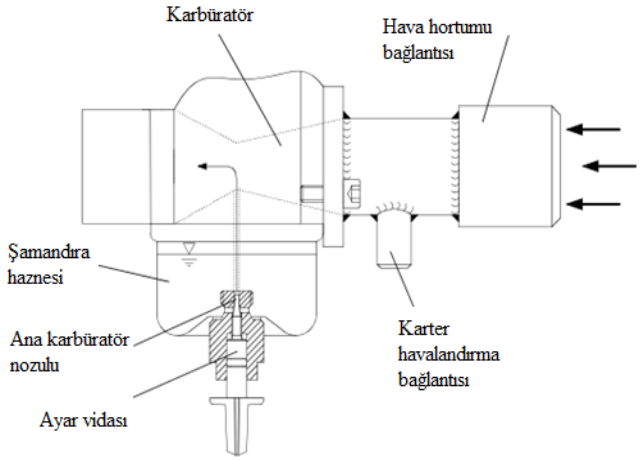
Bu alt başlık altında deneyler esnasında kullanılan cihazların ölçüm prensipleri ve bazı deney parametrelerinin hesaplanma yöntemleri ele alınmıştır.

3.2.5.1.Tork ölçümü

Eddy Current (elektronik) prensibine göre çalışan dinamometre rotor ve statordan oluşmaktadır. Yüksüzken üzerinde direnç olmaksızın dönen rotor, dinamometrenin yüklenmesi ile stator üzerinde bulunan sargılar üzerinde oluşan elektoromanyetik alan ile, frenlenir. Yük hücresi tarafından ölçülen bu frenleme kuvveti ile oluşturulan fren torku, motorun döndürme momentine eşdeğerdir.

3.2.5.2. Yakıt hava karışımın ayarlanması

Karışıma Şekil 3.17'de elemanları verilen karbüratörün şamandıra haznesinin alt kısmında bulunan karbüratör nozulu ile müdahale edilmektedir.



Şekil 3.17. Yakıt hava karışımının ayarlama elemanları (GUNT, 2016c)

3.2.5.3. Yakıt tüketiminin ölçümü

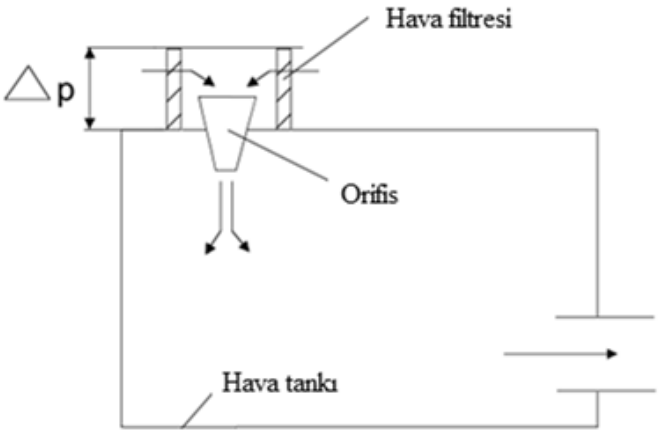
Yakıt deposundaki yakıt bir yakıt filtresinden geçerek yakıt pompası yardımıyla motora beslenmek üzere yakıt ölçüm tüpüne gönderilmektedir. Motor testleri sırasında tüketilen yakıtın miktarı iki farklı şekilde elde edilebilir. Bunlardan ilki yakıt ölçüm tüpü ile bağlantılı elektronik basınç sensörleri tarafından ölçülen hidrostatik basıncı yardımıyla hesaplanan kg/h birimindeki tüketim değerinin test standına ait yazılımdan okunmasıdır. İkincisi ise, yakıt tüketiminin, 5 mm'lik aralıklarla ölçeklendirilmiş yakıt ölçüm tüpü ve kronometre kullanılarak Denklem 3.6'dan hesaplanmasıdır.

$$\dot{m}_y = \frac{(L_1 - L_2)}{\Delta t} A_r . \rho_y \tag{3.6}$$

Burada, $\dot{m}_y$ yakıtın debisi, ρ_y yakıtın yoğunluğu, L_1, L_2 yakıt ölçüm tüpü üzerindeki yakıt seviyeleri, Δt yakıt seviyeleri arasındaki zaman farkını temsil etmektedir. A_r ise yakıt ölçüm tüpünün kesit alanını belirtmektedir ve bu alanın katalog değeri 5.1 cm^2'ye eşittir.

3.2.5.4. Hava tüketiminin ölçümü

Hava tüketiminin ölçümü, Şekil 3.18'de verilen test ünitesi ile bağlantılandırılmış hava filtresi ve orifis içeren bir hava tankı vasıtasıyla yapılmaktadır. İlk olarak hava filtresinden, sonrasında ise orifisten geçen hava, hava tankına yönlendirilir. Elektronik diferansiyel basınç sensörü, hava basıncında meydana gelen basınç farkı ile orantılı voltaj sinyali üretir. Denklem 3.7'ye göre tüketilen havanın hacimsel debisine dönüştürülen basınç farkı test standı üzerinden [L/dk] biriminde okunabilir.



Şekil 3.18. Hava tüketimi ölçüm elemanları (GUNT, 2016b)

$$\dot{V} = A_0 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1-\beta^4)}} \tag{3.7}$$

Bu denklemdeki A_0 kesit alanı, β çap oranı ve C_d düzeltme katsayısı aşağıdaki denklemler kullanılmarak hesap edilmektedir.

$$A_0 = A_2 = \pi d^2 / 4 \tag{3.8}$$

$$\beta = d / D \tag{3.9}$$

$$C_d = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + \frac{91.71\beta^{2.5}}{\mathrm{Re}^{0.75}} \tag{3.10}$$

3.2.5.5. Hava fazlalık katsayısının hesaplanması

Silindire alınan hava yakıt oranının, stokiyometrik hava yakıt oranına hava fazlalık katsayısı denir ve aşağıda verilen denklemle hesap edilir.

$$\lambda = \frac{HYO_g}{HYO_s} \tag{3.11}$$

3.2.5.6. Volumetrik verimin hesaplanması

Motorun emme zamanında tükettiği hava miktarının aynı şartlar altında tüketmesi gereken teorik hava miktarına oranını ifade eden volumetrik verim aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$n_v = \frac{2\dot{m}_h}{\rho_h V_s n} \tag{3.12}$$

Bu denklemdeki V_s silindir hacmini, n motor devrini, $\dot{m}_h$ ve ρ_h sırasıyla havanın kütlesel debisi ve yoğunluğunu temsil etmektedir.

3.2.5.7. Fren gücünün hesaplanması

Fren gücü motorun volanından alınan gücün ölçüsüdür ve devir sayısı ve fren torku yardımıyla aşağıdaki denklemle bulunur.

$$P = \frac{2.\pi.n.\tau}{60.10^3} \tag{3.13}$$

3.2.5.8. Fren özgül yakıt tüketiminin hesaplanması

Motorun birim güç elde etmek icin tükettiği yakıt miktarı olarak tanımlanan fren özgül yakıt tüketimi, zamana bağlı değişen yakıt tüketimi ve fren gücü verisi kullanılarak aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$föyt = \frac{\dot{m}_y .3600}{P} \tag{3.14}$$

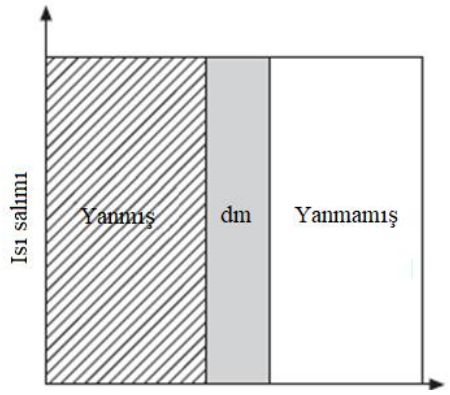
3.2.5.9. Termal veriminin hesaplanması

Yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjinin yanması ile açığa çıkan ısı enerjinin bir kısmı egzoz gazları, yağlama yağı ve soğutma sisteminde kaybedilmekte, geriye kalan kısmı ise işe dönüştürülmektedir. Yakıtın enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştürüldüğünün göstergesi olan fren termal verim aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$n_t = \frac{P}{\dot{m}_y H_u} \tag{3.15}$$

3.2.5.10. Isı salım hızının hesaplanması

SI motorlarda yanma sırasında oluşan ısı salımı karakteristiği Şekil 3.19'da sunulmuştur. SI yanma durumunda, ince bir reaksiyon bölgesi veya alev cephesi silindir dolgusunu yanmış ve yanmamış bölgelere ayırmaktadır.



Şekil 3.19. Buji ateşlemeli motor ısı salımı karakteristiği (Zhao, 2007)

Alev cephesi reaksiyon bölgesinde gelişmekte olup, ısı salımı bu bölge ile sınırlıdır. Kümülatif ısı yayılımı, reaksiyon bölgesindeki belirli kütlenin yanması (dm_i) ile oluşan ısının toplamı olarak Denklem 3.16 ile ifade edilmektedir (Zhao, 2007). Burada

N yanma reaksiyonlarının gerçekleştiği bölge sayısı, q ise homojen dolgunun kütle başına ısıl enerji miktarını ile temsil etmektedir.

$$Q = \int_0^N q.dm_i \tag{3.16}$$

Daha açık biçimde ısı salım hızı, zamana bağlı açık bir sistem için yazılan termodinamiğin birinci kanunu Denklem 3.17 ve dolgunun ideal gaz karışımlarından oluştuğu vasayımı ile yazılan idel gaz kanunu Denklem 3.18 yardımıyla elde edilir.

$$\frac{dQ}{dt} - P\frac{dV}{dt} + \sum_i m_i h_i = \frac{dU}{dt} \tag{3.17}$$

Burada dQ/dt terimi yakıtın kimyasal enerjisini temsil eden dQ_y/dt ve sistemden dışarı yönlü ısı transferi miktarını temsil eden dQ_{tt}/dt terimlerinin arasındaki farktır.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_y}{dt} - \frac{dQ_{tt}}{dt} \tag{3.18}$$

$$PV = mRT \tag{3.19}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{mR}\left(P\frac{dV}{dt} + V\frac{dP}{dt}\right) \tag{3.20}$$

Silindir içi dolgunun entalpisinin zamana bağlı değişimi ihmal edilip, ideal gaz denkleminin türevini ifade eden Denklem 3.20, termodinamiğin birinci kanunu ile birlikte değerlendirilirse ısı salım hızı elde edilir.

$$\frac{dQ}{dt} = (1 + \frac{C_v}{R})P\frac{dV}{dt} + (\frac{C_v}{R})V\frac{dP}{dt} \tag{3.21}$$

Bu denklemde $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ve $R = C_p - C_v$ yazılırsa aşağıdaki denkleme indirgenir.

$$\frac{dQ}{dt} = (\gamma/(\gamma-1))P\frac{dV}{dt} + (1/(\gamma-1))V\frac{dP}{dt} \tag{3.22}$$

Zamana göre yazılan bu ifadenin krank açısı cinsinden gösterimi Denklem 3.23 biçimindedir.

$$\frac{dQ}{d\theta} = (\gamma/(\gamma-1))P\frac{dV}{d\theta} + (1/(\gamma-1))V\frac{dP}{d\theta} \quad (3.23)$$

3.2.6. Termoekonomik Analiz

Termoekonomik analiz, termodinamik analiz ile ekonomik analizin birleştirildiği, özellikle ekserji analizini tamamlayıcı nitelikte bir analiz aracıdır. Termoekenomik analiz terimine literatürde eksergoekonomik analiz veya ekserjetik maliyet olarak rastlamak da mümkündür.

3.2.7.Termodinamik Analiz

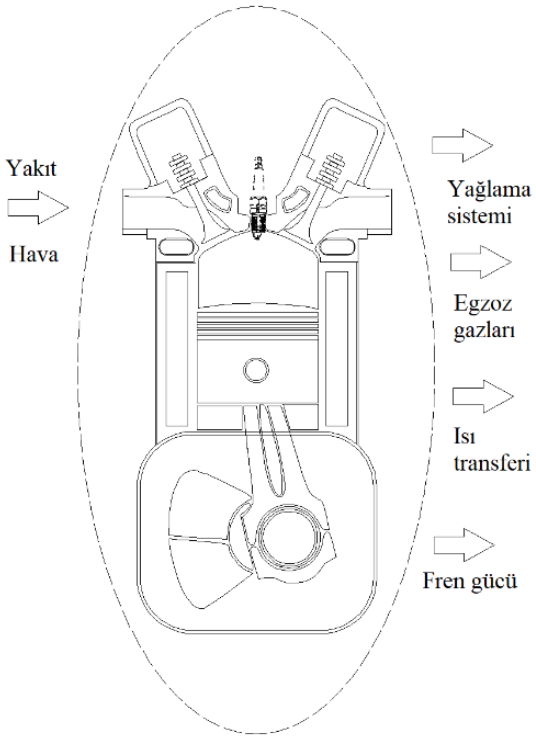
Termodinamik analiz hem termodinamiğin birinci yasasını hemde termodinamiğin ikinci yasasını içine alan ve çeşitli çalışma şartlarında içten yanmalı motorların davranışlarını belirlemek için sıklıkla kullanılan kapsamlı bir analiz aracıdır.

3.2.7.1. Enerji Analizi

İş yapabilme yeteneği olarak ifade edilen enerjinin, Termodinamiğin birinci yasası temel alınarak analiz edilmesi, belirli bir kontrol hacmi boyunca iş, ısı veya kütle akışı şeklinde aktarılan enerji değişimlerinin belirlenmesini sağlar. Çalışma kapsamında enerji analizinin uygulandığı SI motor, motoru çevrelediği varsayılan kontrol hacmi ve bu kontrol hacminden içeri veya dışarı yönlü enerji akımları Şekil 3.20'de verilmiştir. Motora enerji ve ekserji analizleri uygulanmadan önce yapılan kabuller şu şekildedir:

- Motor kararlı durumdadır. Yani her bir çevrimin başlangıcındaki termodinamik durum, çevrimin sonuncaki durumla aynıdır (Caton, 2012).
- Yanma havasının içerinde su buharı olmadığı ve onun hacimce %21 oksijen ve %79 azot'tan oluşan bir ideal gaz karışımı olduğu varsayılır.
- Egzoz gazları ideal gaz karışımıdır.
- Kütle giriş akımı (hava ve yakıt) ve kütle çıkış akımına ait potansiyel ve kinetik etkiler ihmal edilmektedir.
- Ölü durum sıcaklığı ve basıncı, ortam koşullarının sıcakklığı ve basıncı ile eşittir.

En genel haliyle, Denklem 3.24 ve Denklem 3.25 ile ifade edilen kütle ve enerjinin korunumu bağıntıları, sürekli akışlı açık bir termodinamik sistem olarak kabul edilen motora uygulanırsa Denklem 3.26 ve Denklem 3.27'ye dönüşür.



Şekil 3.20. İçten yanmalı motor için kontrol hacmi ve enerji akımları

$$\sum m_g - \sum m_ç = \Delta m_{sist.} \tag{3.24}$$

$$\sum E_g - \sum E_ç = \Delta E_{sist.} \tag{3.25}$$

$$\dot{m}_y + \dot{m}_h = \dot{m}_{eg} \tag{3.26}$$

$$\dot{E}_y = \dot{E}_W + \dot{E}_{eg} + \dot{E}_k \tag{3.27}$$

Bu denklemler oluşturulurken, yanma havasının motora çevre şartlarında girdiği ve bu nedenle motora kütle ile enerji girişinin sadece yakıtın kimyasal enerjisinden ibaret olduğu kabul edilmiştir. Kontrol hacmindeki ısı kayıpları, egzoz gazları ile kütle çıkışı biçiminde ve kayıp enerji biçiminde meydana gelmektedir. Bu kayıpların her biri için kullanılan denklemler aşağıda sıralanmıştır.

$$\dot{E}_y = \dot{m}_y H_u \tag{3.28}$$

$$\dot{W} = \frac{2.\pi.n.\tau}{60.10^3} \tag{3.29}$$

$$\dot{E}_{eg} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_{i,eg} (\bar{h}_i - \bar{h}_{0i}) \tag{3.30}$$

Motorda yakıt enerjisinin nasıl dağıldığı hesaplandıktan sonra, birinci yasa verimi veya bir diğer ifade ile termal verim aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_y} \tag{3.31}$$

3.2.7.2. Ekserji Analizi

Bir sistemin enerji kullanımını anlayabilmek için, sisteme yalnız enerji analizinin uygulanması yeterli değildir, çünkü enerji analizi bir enerji akımlarının kalitesini veya kullanılabilirliğini referans almadığından sadece nicel bir değerlendirme sunar. Ancak termodinamiğin birinci yasasında "bir proses esnasında yoktan var, vardan yok edilemeyeceği, sadece form değiştirebileceği" belirtilen enerjinin iş potansiyeli azalabilir. Dolayısıyla ekserji analizi sistemin ideal duruma yakınlığının bir ölçüsü olarak gerçek verimliliği ve sistemdeki kayıpların ve yıkımların gerçek büyüklüklerini belirleyebilir. Isı, kütle ve iş akışı şeklinde ortaya çıkan enerji akımlarının büyüklükleri enerji analizi ile belirlenebilse de entropi üretimine bağlı olarak enerjinin niteliğindeki azalma ve hal değişiminin yönü ekserji analizinin uygulama alanındadır. Enerjinin miktarının yanısıra kalitesiyle ilgilenen ekserji terimi, belirli bir başlangıç durumundan çevresi ile denge durumuna getirildiğinde sistemden elde edilecek maksimum güç olarak tanımlanır (Aghbashlo ve ark., 2018). Ekserji analizinin şüphesiz en faydalı yanı, enerjiden iş üretebilme potansiyeli olan enerji terimlerini, iş üretme potansiyeli olmayan veya çok az olan enerji terimlerinden ayırt etmesidir (Caton, 2012).

En genel haliyle Denklem 3.32 ile ifade edilen ekserjinin azalması ilkesi, sürekli akışlı açık bir termodinamik sistem olarak değerlendirilen motor için çalışmada temel alınan ekserji akımları cinsinden Denklem 3.33 şeklinde düzenlenir.

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ile ilgilidir ve "enerji üretilemez, yok edilemez ve tüm gerçek proseslerde miktarı sabit kalır" şeklindedir. Termodinamiğin ikinci yasası ise genel olarak enerjinin tahribi ile ilgilidir; tüm gerçek proseslerde enerji tahrip olur ve bu yüzden kalitesi azalır. Bir ortamda bütün diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerjiye "kullanılabilir enerji" ya da "ekserji" adı verilir

$$Ex_g - Ex_ç - Ex_{yıkım} = \Delta Ex_{sist.} \tag{3.32}$$

$$\dot{E}x_y = \dot{E}x_W + \dot{E}x_{eg} + \dot{E}x_k + \dot{E}x_{yıkım} \tag{3.33}$$

Bu denklem motora giren yakıtın ekserji akımının güç ekserji akımı, egzoz ekserji akımı, kayıp ekserji akımı arasında dağıldığını ve motorda meydana gelen bazı tersinmezlikler neticesinde geriye kalan ekserjinin yıkıma uğradığını ifade etmektedir. Bu ekserji terimlerinin hesaplanması için kullanılan denklemler aşağıda sıralanmıştır.

$$\dot{E}x_y = \dot{m}_y \varepsilon_y^{kim} \tag{3.34}$$

Yakıtın ekserji akımını temsil eden Denklem 3.34 oluşturulurken, yakıtın çevre ile kinetik, potansiyel ve fiziksel olarak denge halinde olduğu kabulü ile yakıtın sadece kimyasal ekserjisi dikkate alınmıştır. Yakıtın özgül ekserjisi için, Kotas (1995) tarafından geliştirilen yakıtın hidrojen (h), karbon (c), oksijen (o) ve sülfür (s) oranları kullanılarak hesaplanan ve %0.38 hataya sahip ekserji faktörü (φ) (Denklem 3.35) kullanılarak Denklem 3.36'ya indirgenir.

$$\varphi = 1.0401 + 0.1728\frac{h}{c} + 0.0432\frac{o}{c} + 0.2169\frac{\alpha}{c}(1 - 2.0628\frac{h}{c}) \tag{3.35}$$

$$\varepsilon_y^{kim} = \varphi H_u \tag{3.36}$$

Motorda üretilen efektif gücün tamamı faydalı işe dönüştürülebilir nitelikte olduğundan, efektif güç, efektif güç ekserji akımına eşittir.

$$\dot{E}x_W = \dot{W} \tag{3.37}$$

Egzoz ekserji akımı, egzoz gazı içindeki her bir yanma ürününe ait termomekanik ve kimyasal ekserjiler yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{E}x_{eg} = \dot{m}_{i,eg} \varepsilon_i \tag{3.38}$$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^{tm} + \varepsilon_i^{kim} \tag{3.39}$$

$$\varepsilon^{tm} = \sum_{i=1}^{n} a_i \left\{ (\overline{h_i} - \overline{h_{0i}}) - T_ç (\overline{s_i} - \overline{s_{0i}}) \right\} \tag{3.40}$$

Bu denklemde y_i egzoz gazı içindeki i. bileşenin molar oranı, y_i^e ise referans çevredeki i. Bileşenin molar oranı, $T_ç$ ise çevre sıcaklığı, R gaz sabitidir. Egzoz gazındaki bieşenlere ait mol oranları, yanma denklemlerinden elde edilir.

Egzoz gazlarının kimyasal özgül ekserjisi hesaplanırken, referans çevrenin çeşitli molar oranlardaki ideal gaz karışımlarından oluştuğu kabul edilir. Bahsi geçen ideal gazlar, referans çevredeki mol kesirleri ile birlikte Çizelge 3.15'de sunulmuştur. Hesaplamalar gerçekleştirilirken, referans çevrenin sıcaklığı, basıncı ve molar kompozisyonlarının zamanla değişmediği kabul edilmektedir (Aghbashlo ve ark., 2018)

Çizelge 3.15. Referans çevre (Moran ve ark., 2010)

Ref. çevre bileşenleri	N_2	O_2	CO_2	H_2O	CO	SO_2	H_2	Diğerleri
Molar oran (%)	75.67	20.35	0.0345	3.03	0.0007	0.0002	0.00005	0.91455

Kayıp ekserji akımı, sistemden yağlama yağına geçen veya motor yüzeyinden ısı transferi ile kaybolan ısı akışları vasıtasıyla meydana gelen ısı kayıplarının toplamını temsil etmektedir.

$$\dot{E}x_k = \sum (1 - \frac{T_0}{T_{ys}})\,\dot{E}_k \tag{3.42}$$

Bu ekserji terimlerinin herbiri motor için ekserjinin azalması ilkesini belirten Denklem 3.33'de yerine yazıldığında, yakıt ekserjisinin ekserji yıkımı ile kaybedilen kısmı hesaplanır.

Ekserji analizi ile birlikte hayatımıza giren ve yeni bir performans kriteri olan ikinci yasa verimi veya ekserjik verim, motora giren yakıt ekserjisinin ne kadarının güce dönüştüğünün bir ifadesidir ve Denklem 3.43 ile hesaplanır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}\,x_W}{\dot{E}\,x_y} \tag{3.43}$$

3.2.8. Ekonomik Analiz

Ekserji analizi bir sistemde tersinmezlikler sonucu oluşan kayıpların büyüklüklerini ve kaynaklarını belirlemeye yardımcı bir araçtır. Ekserji analizinin uygulandığı bir sistemin örneğin çeşitli çalışma şartlarında test edilen bir motorun, ekserji bakımından en verimli çalışma şartlarının ekonomik olarak da en ideal olması gerekmez. Ayrıca, termodinamik analiz ile belirlenen sistemin optimum durumu pratikte imkânsız bir ekonomik duruma neden olabilir, bu nedenle termodinamik analizin, ekonomik analiz ile birlikte değerlendirilmesi gerekir. Ekonomik analizin de araştırmaya dahil edilmesi, bu analizin faydayı en üst düzeye çıkarırken maliyeti en aza indirmesi nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Burada amaç birinci ve ikinci yasaya dayanan termodinamik analizi

ekonomik bulgularla destekleyerek enerjinin hem kullanılabilirliği hem de maliyeti üzerinde değerlendirmeleri içeren optimum şartları belirlemektir.

Sürekli akışlı açık bir termodinamik sistem olarak değerlendirilen motor için maliyet dengesi denklemi genel olarak Denklem 3.44 ile, ekserji analizi terimleri cinsinden ise Denklem 3.45 ile ifade edilir. Bu denklem basitçe, mevcut ekserji akışlarının toplam maliyetinin onları elde etmek için yapılan toplam harcamaya eşit olduğunu belirtir.

$$\sum \dot{C}_g + \dot{Z} = \sum \dot{C}_ç \tag{3.44}$$

$$\sum c_g \dot{Ex}_g + \dot{Z} = \sum c_ç \dot{Ex}_ç \tag{3.45}$$

Bu denklem çalışma kapsamında dikkate alınan ekserji terimlerine göre düzenlenirse, Denklem 3.46 şeklinde yazılır.

$$c_y \dot{Ex}_y + \dot{Z} = c_W \dot{Ex}_W + c_{eg} \dot{Ex}_{eg} + c_k \dot{Ex}_k \tag{3.46}$$

Motorlardan elde edilmesi beklenen temel hedef motor gücüdür, bu nedenle diğer bileşenlerle ilgili masraflar motor gücüne yüklenebilir. Egzoz gazı, soğutma sistemine ısı kaybı ve ortama ısı kaybı da dahil olmak üzere kayıp akımlar için birim enerji başına maliyetin, yanma odasına enjekte edilen yakıt için ekserji birim başına maliyetine eşdeğer olduğu kabul edilebilir (Aghbashlo ve ark., 2018).

$$c_y = c_{eg} = c_k \tag{3.47}$$

Bu durumda yukarıdaki eşitlikler gözönüne alınarak Denklem 3.46 yeniden düzenlenirse, şaft gücü için ekserji birimi başına maliyet Denklem 3.48 ile hesaplanabilir.

$$c_W = \frac{c_y(\dot{Ex}_y - \dot{Ex}_{eg} - \dot{Ex}_k) + \dot{Z}}{\dot{Ex}_W} \tag{3.48}$$

Motor için yatırım maliyeti oranı $\dot{Z}$, Denklem 3.49'da verilen sermaye geri kazanım faktörü CFR ile ilişkilendirilerek Denklem 3.51 ile hesaplanır.

$$CFR = \frac{i_{ef}(1+i_{ef})^N}{(1+i_{ef})^N - 1} \tag{3.49}$$

$$i_{ef} = (\frac{p+i}{p})^{p} - 1 \tag{3.50}$$

$$\dot{Z} = \frac{Z\ CFR\ \phi}{H} \tag{3.51}$$

Bu denklemlerde geçen i kar oranını (%), N motor ömrünü (yıl), ϕ bakım faktörünü, H yıllık çalışma saatini (saat), Z motorun sermaye maliyetini temsil etmektedir. Toplam ekserji kaybının maliyet oranı Denklem 3.52 ile hesaplanırken, bu kayıp akımına yatırım maliyet oranının da eklenmesi ile Denklem 3.53 ile ifade edilen toplam maliyet oranı hesaplanmaktadır.

$$\dot{C}_k = c_y(\dot{E}x_{eg} + \dot{E}x_k + \dot{E}x_{yıkım}) \tag{3.52}$$

$$\dot{C}_T = \dot{Z} + \dot{C}_k \tag{3.53}$$

Son olarak eksergonomik faktör Denklem 3.54 yardımıyla bulunur.

$$f = \frac{\dot{Z}}{\dot{C}_T} \tag{3.54}$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Biyoetanol Üretimi için Deney Tasarımı

Taguchi Deney Tasarımı yaklaşımına göre Çizelge 3.2'de verilen parametre ve seviyeler baz alınarak üretimi yapılan (x, y, z sırasıyla A, B, C parametrelerinin ilgili seviyeleri olmak üzere) kısaca $A_xB_yC_z$ ile temsil edilen biyoetanol numunelerinin üretimi sonunda numunelerin sahip olduğu yoğunluk, alt ısıl değer ve kinematik viskozite değerleri, Yakıt Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilen yakıt analizleri ile belirlenmiş, analiz sonuçları ve S/N oranları Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Deney verileri ve her bir veri için S/N oranları

Deney numarası	Numune	Yoğunluk (g/m^3)	Yoğunluk için S/N	Alt ısıl değer	Alt ısıl değer için S/N	Kinematik viskozite	Kinematik viskozite için S/N
1	$A_1B_1C_1$	0.84145	1.49943	23.253	27.3296	1.4531940	-3.24647
2	$A_1B_2C_2$	0.86047	1.30529	21.312	26.5725	1.5738186	-3.93909
3	$A_1B_3C_3$	0.85678	1.34261	22.049	26.8678	1.5533398	-3.82533
4	$A_2B_1C_2$	0.86795	1.23011	20.388	26.1875	1.6061118	-4.11552
5	$A_2B_2C_3$	0.87125	1.19714	19.959	26.0028	1.6208337	-4.19477
6	$A_2B_3C_1$	0.87853	1.12487	19.283	25.7035	1.6502775	-4.35114
7	$A_3B_1C_3$	0.86664	1.24323	20.512	26.2402	1.5999381	-4.08206
8	$A_3B_2C_1$	0.84482	1.46472	23.117	27.2786	1.4707653	-3.35087
9	$A_3B_3C_2$	0.86119	1.29802	21.153	26.5074	1.5852162	-4.00177

Deney tasarımına ait yanıt tabloları Çizelge 4.2, 4.3, ve 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Yoğunluk için yanıt tabloları

Seviye	Ortalamalar için yanıt tablosu			S/N için yanıt tablosu		
	Enzim kons. (%g/g)	S. cerevisiae kons. (%g/g)	Fermantasyon süresi (saat/gün)	Enzim kons. (%g/g)	S. cerevisiae kons. (%g/g)	Fermantasyon süresi (saat/gün)
1	0.8529	0.8549	0.8580	1.382	1.363	1.332
2	0.8726	0.8632	0.8685	1.184	1.278	1.224
3	0.8576	0.8649	0.8565	1.335	1.261	1.346
Delta	0.0197	0.0100	0.0120	0.198	0.102	0.121
Sıralama	1	3	2	1	3	2
Katkı oranı (%)				47.03	24.23	28.74

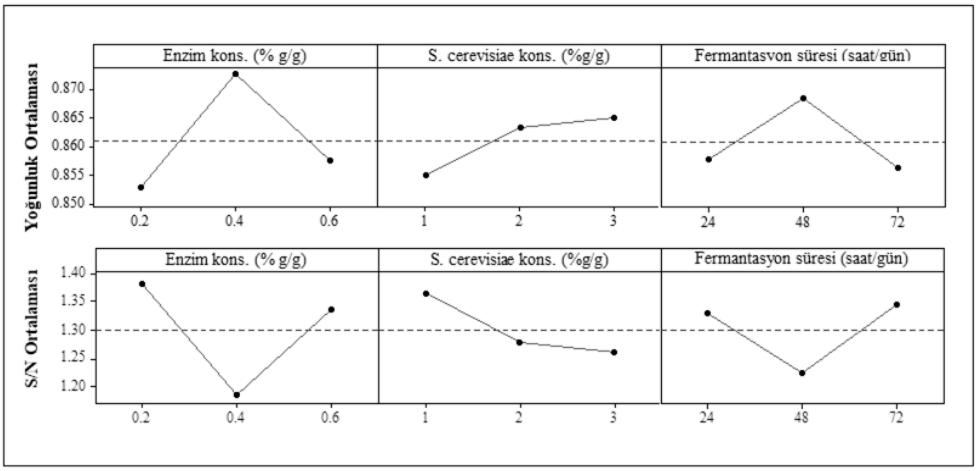
Çizelge 4.3. Alt ısıl değer için yanıt tabloları

Seviye	Ortalamalar için yanıt tablosu			S/N için yanıt tablosu		
	Enzim kons. (%g/g)	S. cerevisiae kons. (%g/g)	Fermantasyon süresi (saat/gün)	Enzim kons. (%g/g)	S. cerevisiae kons. (%g/g)	Fermantasyon süresi (saat/gün)
1	22.20	21.38	21.88	26.92	26.59	26.77
2	19.88	21.46	20.95	25.96	26.62	26.42
3	21.59	20.83	20.84	26.68	26.36	26.37
Delta	2.33	0.63	1.04	0.96	0.26	0.40
Sıralama	1	3	2	1	3	2
Katkı oranı (%)				59.26	16.05	24.69

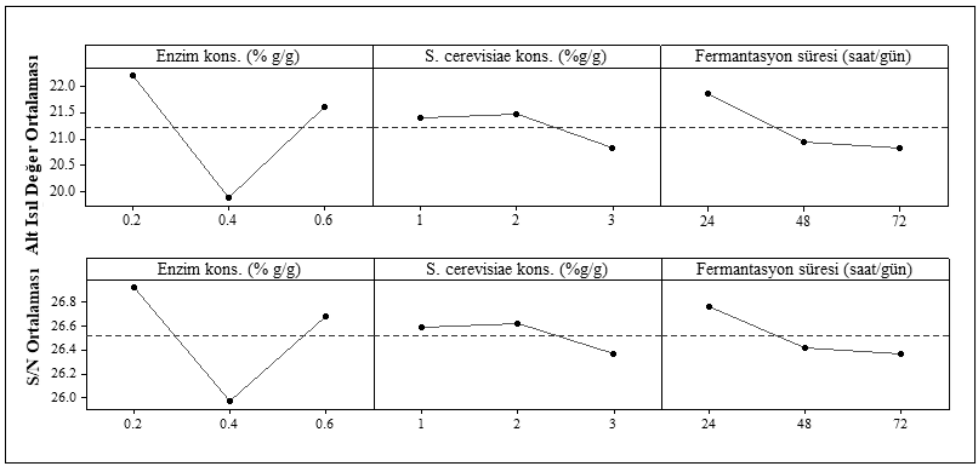
Çizelge 4.4. Kinematik viskozite için yanıt tabloları

Seviye	Ortalamalar için yanıt tablosu			S/N için yanıt tablosu		
	Enzim kons. (%g/g)	S. cerevisiae kons. (%g/g)	Fermantasyon süresi (saat/gün)	Enzim kons. (%g/g)	S. cerevisiae kons. (%g/g)	Fermantasyon süresi (saat/gün)
1	1.527	1.553	1.525	-3.670	-3.815	-3.649
2	1.626	1.555	1.588	-4.220	-3.828	-4.019
3	1.552	1.596	1.591	-3.812	-4.059	-4.034
Delta	0.099	0.043	0.067	0.550	0.245	0.385
Sıralama	1	3	2	1	3	2
Katkı oranı (%)				46.61	20.76	32.63

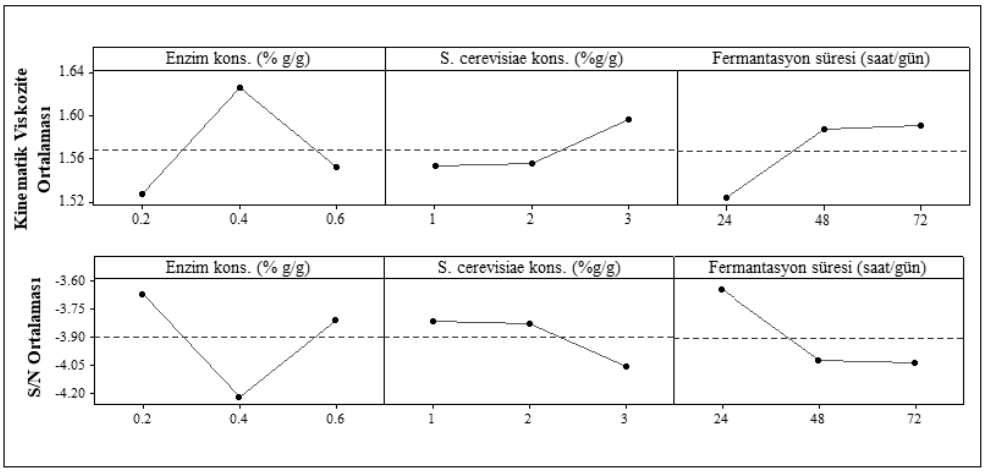
Delta, her kontrol faktörü için S/N'nin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farkı, katkı oranı ise her bir parametrenin delta değerlerinin, tüm faktörlerin delta değerlerinin toplamına oranını ifade etmektedir. Yoğunluk için en küçük-en iyi, alt ısıl değer için en büyük-en iyi, kinematik viskozite için en küçük-en iyi durumlarında geçerli olan S/N eşitlikleri kullanılarak elde edilen S/N ortalamaları Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Yoğunluk verileri ve S/N için oranları



Şekil 4.2. Alt ısıl değer verileri ve S/N için oranları



Şekil 4.3. Kinematik viskozite verileri ve S/N için oranları

Yoğunluk ve kinematik viskozite için en küçük en iyi durumunun seçilmesinin nedeni, numuneye ait yoğunluk değerinin su içeriğinin de göstergesi olan suyun yoğunluğu 1 g/m^3 değerinden uzaklaştırmak ve kinematik viskoziteyi biyoetanolün kinematik vizkozite değerine yaklaştırmaktır. Ayrıca, yakıtlar için alt ısıl değerin yüksek olması istendiğinden en büyük en iyi referans alınmıştır.

Her bir parametre için S/N oranının maksimum olduğu seviye, yanıtlardaki değişkenliklerin nedenleri olan, istenen değerden sapmaya sebep olan tüm değişkenler ile etkileşimin en düşük olduğu durumu sembolize eder. Yani her bir S/N oranı, gürültü faktörlerinin etkilerini en küçüklemeye hizmet ederek, en yüksek S/N oranını veren optimum seviyelerini belirler. Daha açık şekilde, hangi S/N eşitliği kullanılırsa kullanılsın S/N değerini maksimum yapan deney şartlarının en ideal olduğu kabul edilir. S/N oranına dair yapılan açıklamalar göz önünde bulundurulduğunda, yoğunluk için $A_1B_1C_3$, alt ısıl değer için $A_1B_2C_1$, kinematik viskozite için ise $A_1B_1C_1$ deney şartlarının araştırılması gerektiği sonucuna ulaşılır. Yoğunluk, alt ısıl değer ve kinematik viskozitenin enzim konsantrasyonu, maya konsantrasyon ve fermantasyon süresi ile değişimi, Şekil 4.4'de eş yükselti eğrileri ile sunulmuştur. Her üç yakıt özelliği için de en belirgin etkiler öncelikle enzim konsatrasyonunun, ikinci olarak fermantasyon süresinin üçüncü olarak da maya konsantrasyonunun değişimi ile meydana gelmiştir.

Aşağıda sırasıyla yoğunluk, alt ısıl değer ve kinematik viskozite değişimlerini sembolize eden regresyon denklemleri sunulmuştur. $A_1B_1C_3$, $A_1B_2C_1$, $A_1B_1C_1$ deney numunelerinin regresyon denklemlerine göre alacağı tahmin edilen değerleri Çizelge 4.5'de görülebilir.

$$Yoğunluk = 0.840 + 0.0116.Enzim\ kons.\ (\%g/g) + 0.00341.S.\ cerevisiae\ kons.\ (\%g/g) + 0.000207.Fermentasyon\ süresi\ (saat/gün) \quad (4.1)$$

$$Alt\ ısıl\ değer = 23.4 - 1.53.Enzim\ kons.\ (\%g/g) - 0.278.S.\ cerevisiae\ kons.\ (\%g/g) - 0.0218.Fermentasyon\ süresi\ (saat/gün) \quad (4.2)$$

$$Kinematik\ viskozite = 1.43 + 0.063.Enzim\ kons.(\%g/g) + 0.216.S.\ cerevisiae\ kons.(\%g/g) + 0.00139.Fermentasyon\ süresi(saat/gün) \quad (4.3)$$

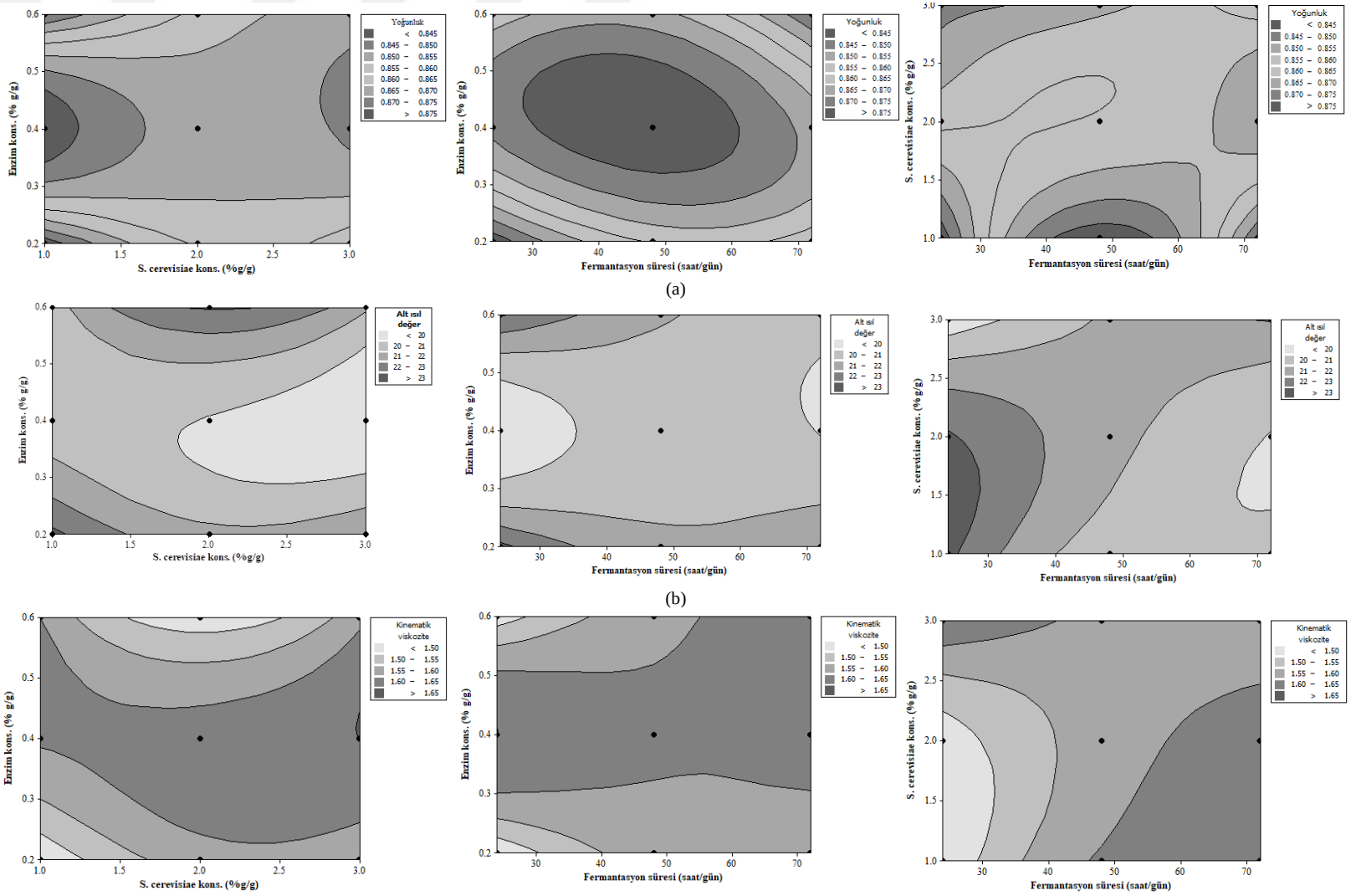
Çizelge 4.5. Tahmini yoğunluk, alt ısıl değer ve kinematik viskozite değerleri

Numune	Yoğunluk (g/m^3)	Alt ısıl değer (MJ/kg)	Kinematik viskozite (mm/s^2)
$A_1B_1C_1$	0.850698	22.293	1.49756
$A_1B_2C_2$	0.859076	21.492	1.55252
$A_1B_3C_3$	0.867454	20.690	1.60748
$A_2B_1C_2$	0.853018	21.987	1.51016
$A_2B_2C_3$	0.866364	20.662	1.59848
$A_2B_3C_1$	0.859838	21.431	1.55336
$A_3B_1C_3$	0.865274	20.634	1.58948
$A_3B_2C_1$	0.858748	21.403	1.54436
$A_3B_3C_2$	0.867126	20.602	1.59932
$A_1B_2C_1$	0.854108	22.015	1.51916
$A_1B_1C_3$	0.860634	21.246	1.56428

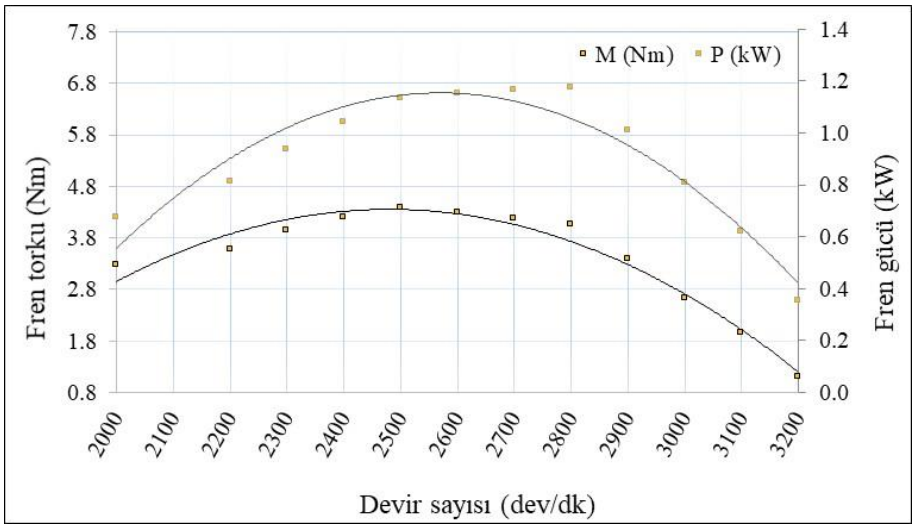
Çizelge 4.5 dikkate alınarak motor testlerinin gerçekleştirileceği atık ekmek kaynaklı biyoetanolün üretimi ile tercihen daha düşük yoğunluk ve kinematik viskozite ve daha yüksek alt ısıl değer elde etmek için seçilen en iyi deney koşulu enzim konsantrasyonunun 0.2 (%g/g), S. cerevisiae konsantrasyonunun 1 (%g/g) ve fermantasyon süresinin 24 saat olduğu koşuldur.

4.2. Tam Yük Deneyleri

Test motorunun benzin ile farklı devir sayılarında çalıştırılması ile gerçekleştirilen tam yük deneylerine ait fren torku ve fren gücü değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir. Bu verilere göre motorun maksimum tork devri 2500 rpm olup, bu devir için elde edilen tork değeri 4.3 Nm'dir. Fren gücü ise maksimum değerini 2800 rpm'de 1.17 kW olarak almakta olup bu değerler motorun katalog değerleri ile uyumludur.



Şekil 4.4. Yoğunluk, alt ısıl değer ve kinematik viskozite için eşyükselti eğrileri



Şekil 4.5. E0 yakıtı için fren torkunun ve fren gücünün devir sayısı ile değişimi

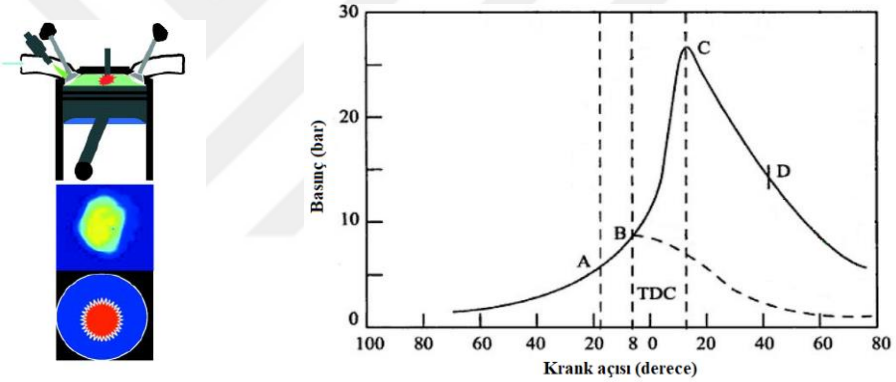
4.3. Kısmi Yük Deneyleri

Önceki bölümlerde belirtilen enzim konsantrasyonu, S. cerevisiae konsantrasyonu ve fermantasyon süresi baz alınarak üretilen atık ekmek biyoetanolü ile şeker pancarı kaynaklı biyoetanolün benzinle farklı oranlarında karıştırılması ile oluşturulan yakıt karışımlarına ait test sonuçları bu bölümde sunulmuştur. Motor test sonuçları yanma parametreleri, motor performans parametreleri, egzoz emisyonları, termodinamik ve termoekonomik analiz parametreleri bakımından ayrı ayrı incelenmiştir.

4.4.1. Yanma Analizi Parametrelerinin Değişiminin İncelenmesi

Buji ateşlemeli motorlarda yakıt hava karışımının homojen bir dağılıma sahip olduğu kabul edilir. Bu nedenle yanma yakıtın buharlaşarak hava ile karışması ve yanma bölgesinde oluşan ısı ve kütle iletim koşulları gibi fiziksel etkilerden çok gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara, bu reaksiyonların hızlarına bağlıdır (Safgönül ve ark., 1995). Şekil 4.6'da görülebileceği gibi buji ateşlemeli motorlarda buji tırnakları arasında kıvılcım çakmasını takip eden alev yayılması ile kendini gösteren yanma üç aşamada meydana gelmektedir. İlk faz olan tutuşma fazı, bujide kıvılcımın çaktığı A noktasını takip eden alev oluşumu ile basınç eğrisinin eğiminin belirgin şekilde artmaya başladığı B noktası arasında geçen zamanı kapsamaktadır. Bu faz yakıt hava karışımının %5-10'unun yandığı faz olarak değerlendirilir. Bu nedenle silindir basıncında artış olsa da artışa ait eğim oldukça küçüktür. B noktasının, silindir basıncı eğrisinin, yanmasız sıkıştırma eğrisinden ayrıldığı nokta olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nokta aynı zamanda ateşlemeden belli bir süre gecikmeyle tutuşmanın gerçekleştiği noktayı temsil eder. İkinci

faz olan ana faz, tutuşma gecikmesi (B) ile maksimum basıncın oluştuğu nokta (C) arasındaki süreyi ifade eder. Bu süre zarfında yanma, alev cephesinin sürekli olarak ilerlediği türbülanslı akımın etkisi altındadır. İlerleme, yanmış bölgelerdeki ısının etkisiyle, yanmış bölgenin genişlemesi, yanmamış bölgenin daralması şeklinde meydana gelir. Bu bölge için yanma hızı, yanmamış bölge küçüldükçe oluşacak karşı basıncın etkisiyle azalan ilerleme hızının ve kimyasal reaksiyonların etkisi ile sürekli artan alev hızının bileşkesinin etkisi altındadır. Bu faz boyunca yakıtın yaklaşık %80-90'ı yanmakta, buna bağlı olarak yakıtın kimyasal enerjisi nedeniyle silindir basıncı eğrisinin eğiminde gözle görülür derecede bir artış meydana gelmektedir. Maksimum basıncın oluştuğu noktada başlayan son faz ise alevin yavaş yavaş sönmeye başladığı ve bujiden uzak bölgelerde meydana gelen yanmanın etkin olduğu fazı temsil etmektedir. Yakıt hava karışımının son %5-10'unun yandığı kabul edilen bu faz basıncın azalması ile son bulmaktadır.



a) SI motor alev yayılımı b) Yanma fazları

Şekil 4.6. SI motor alev yayılımı ve yanma fazları (Zhao, 2007)

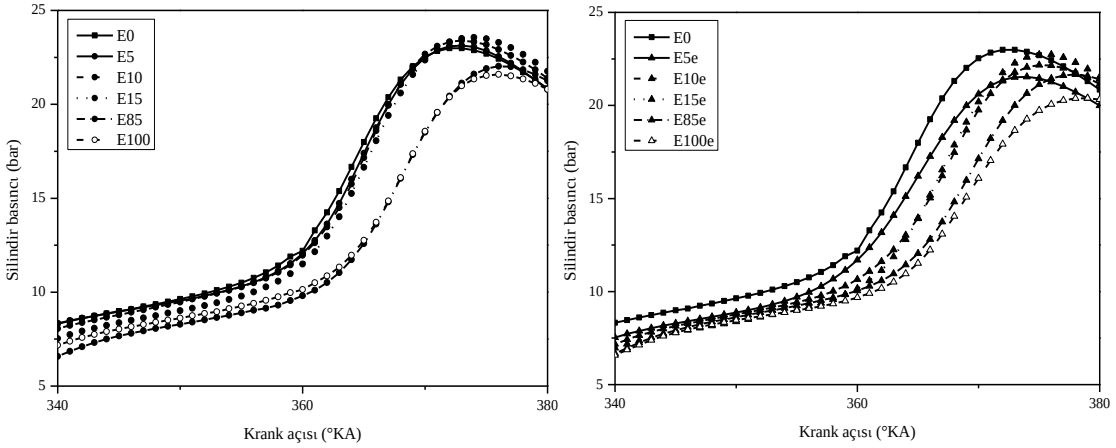
Silindir basıncının krank açısına bağlı değişiminin araştırılması, motorda yanma olayının nasıl geliştiği konusunda ipuçları sunmaktadır. Yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjinin salım hızı da yanma sürecinin anlaşılması için araştırılması gereken bir diğer parametredir. Bu bölümde motorun farklı test yakıtları ile sabit devir sayısı ve değişken yükte çalıştırılması durumunda her 1°KMA için kaydedilen silindir basıncının değişimi ve basınç verisi yardımıyla hesap edilen ısı salım hızının değişimi incelenmiştir. Kıvılcımın ateşlendiği, yanmanın başladığı, maksimum silindir bacıncının elde edildiği, maksimum ısı salım hızının elde edildiği, yanmış yakıt oranının toplam yakıtın %10'u, %50'si ve %90'ı olduğu ve yanmanın sonlandığı krank açıları ve tutuşma gecikmesi süresi, yanma süresi yanma analizi açısından değerlendirilen diğer parametrelerdir.

4.4.1.1. Silindir basıncı

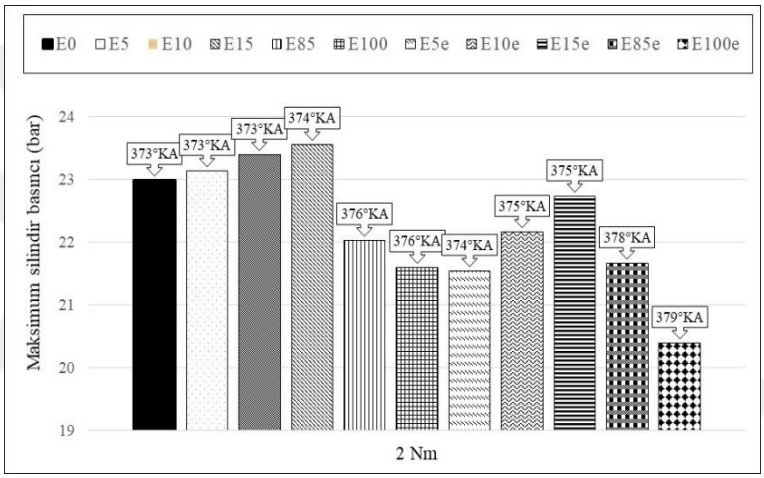
Silindir içi basınç genellikle silindir hacminin değişmesi ve yanma prosesi öncelikli olmak üzere, silindir duvarına olan ısı transferinden ve kompresyon kaçaklarından etkilenen bir olgudur (Heywood, 1988). Çalışma kapsamında yükün ve test yakıtlarının farklı varyasyonlarının silindir basıncına etkisi araştırılmıştır.

Tüm test yakıtları için, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 Nm yük değerlerinde silindir basıncının kranç açısına bağlı değişimi Şekil 4.7, 4.9, 4.11, 4.13, 4.15'de, maksimum silindir basıncı ve bu basınca karşılık gelen krank mili açıları Şekil 4.8, 4.10, 4.12, 4.14, 4.16'da sunulmuştur. Tüm test yakıtları için motor yükünün dolayısıyla motor gücünün artışına bağlı olarak maksimum silindir basıncının artttığı tespit edilmiştir. Bu durum artan yük ile birlikte volumetrik verimin artması ve silindire daha fazla dolgu girişi ile artan enerji yoğunluğu ile ilgilidir. 2, 2.5 ve 3 Nm yük değerlerinde yakıta etanol ilavesi bakımından %15 oranı kritik bir noktaya işaret etmektedir öyleki benzine %15'e kadar şeker pancarı biyoetanolü ilavesi maksimum silindir basıncının benzine kıyasla artmasına neden olurken, etanol oranının artmaya devam etmesinin silindir basıncını azaltığı tespit edilmiştir. 2, 2.5 ve 3 Nm yük değerleri için atık ekmek biyoetanolü de benzer bir eğilime sahip olup %15 etanol ilavesine kadar artan, bu noktadan sonra azalan bir trende girmiştir. Bu sonuçlar belirtilen yük değerlerinde E5, E10, E15 yakıtlarının yanması için uygun ortamın oluştuğunu göstermektedir. Biyoetanolün araştırma oktan sayısı ve motor oktan sayısı sırasıyla 104.8 ve 89.3 olup, bu değerlerin her ikisi de benzinin oktan sayılarına nazaran (95.5 ve 85.8) daha yüksektir. Atık ekmek biyoetanolü için ise hem araştırma hem de motor oktan sayısının 120'nin üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Ozsezenve Canakci (2011) biyoetanolün yüksek oktan sayısının, yakıtın yanma davranışını geliştirdiğini bildirmektedirler.

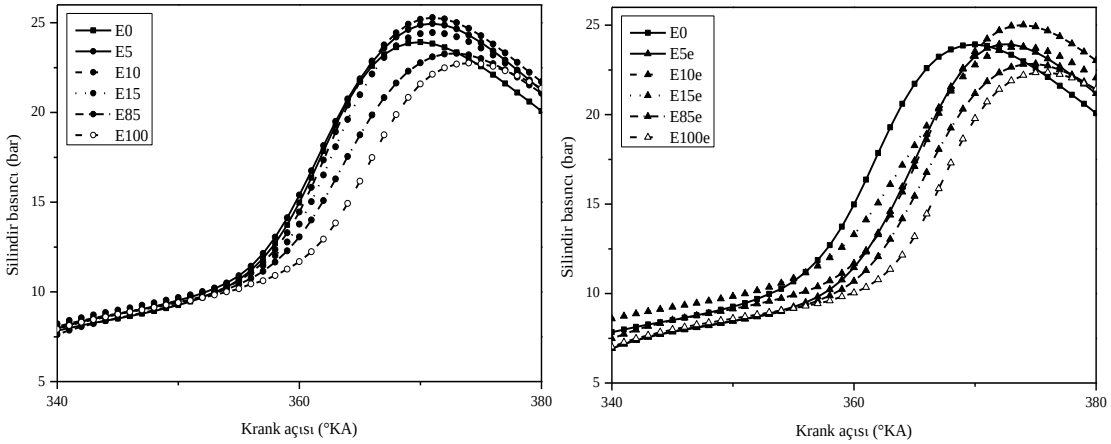
3.5 ve 4 Nm yük değerlerinde en yüksek silindir basınçları E0 yakıtı için elde edilirken, şeker pancarı biyoetanolü ilavesi ile kademeli bir düşüş gözlenmiştir. Atık ekmek biyoetanolü içeren yakıtların maksimum silindir basınçları her durumda şeker pancarı etanolü içerenlere göre daha düşüktür. Bu durum atık ekmek biyoetanolünün bir miktar su içermesinden kaynaklanmaktadır. Atık ekmek biyoetanolü içeren yakıt karışımlarının içeriğindeki su miktarı, buharlaşmak için silindir içindeki ısıyı kullanmakta ve silindir içi basıncının şeker pancarı etanolüne nazaran daha düşük olmasına neden olmaktadır. Su içeriğine sahip etanol kullanımının oktan sayısını artırdığı ve aynı zamanda etanolün buharlaşma ısısını arttırdığı gerçeği diğer araştırmacıların sonuçları ile uyumludur.



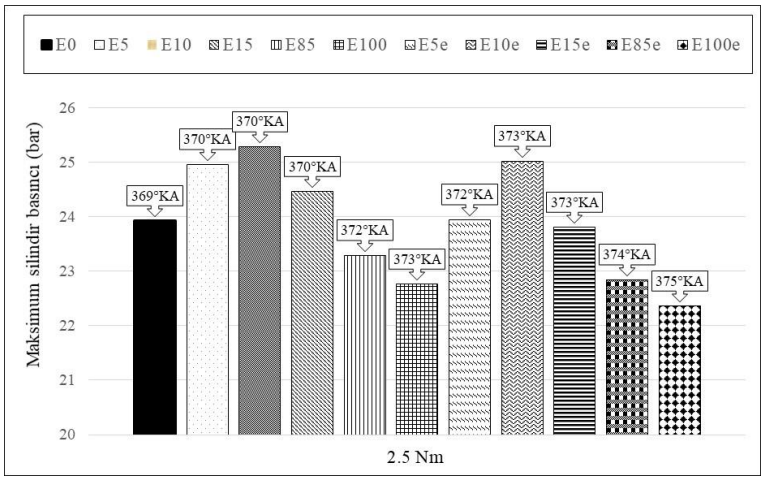
Şekil 4.7. 2 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi



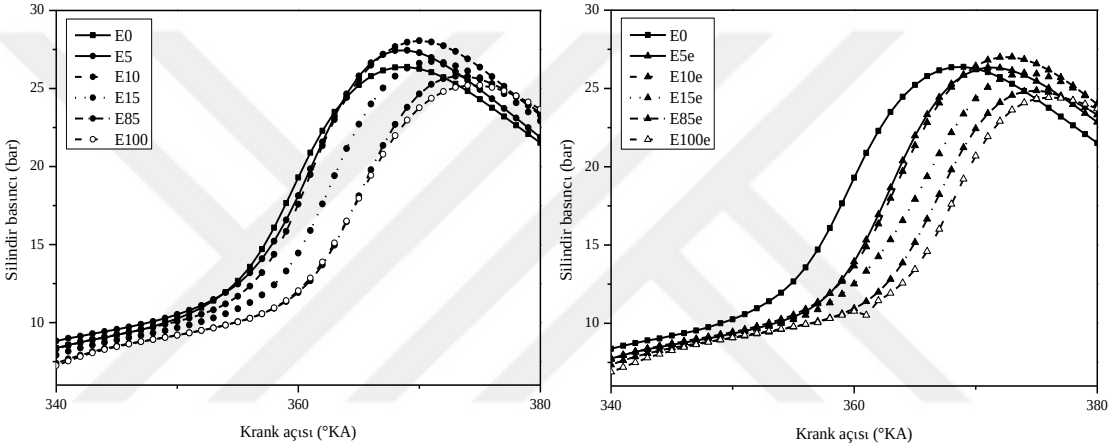
Şekil 4.8. 2 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı



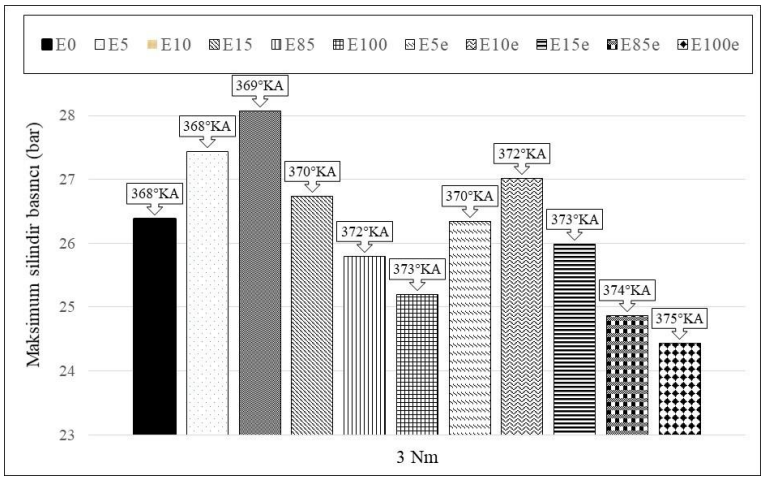
Şekil 4.9. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi



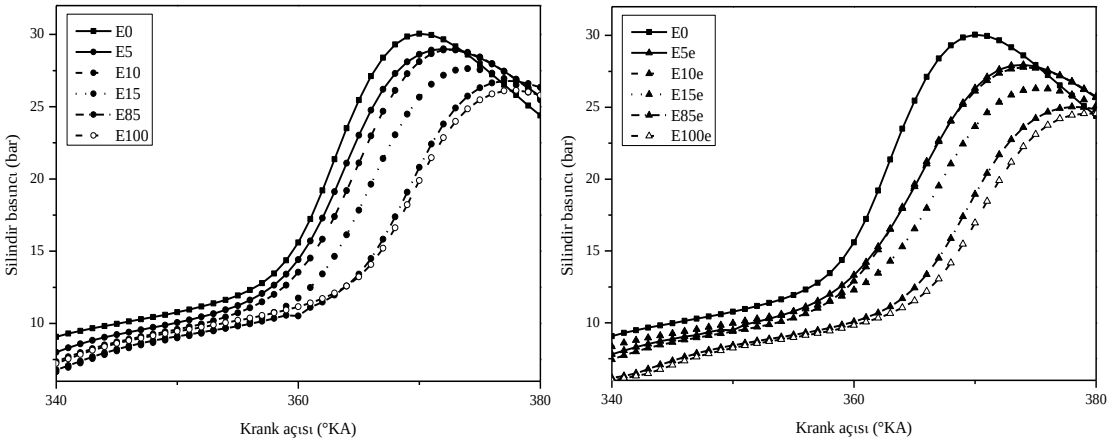
Şekil 4.10. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı



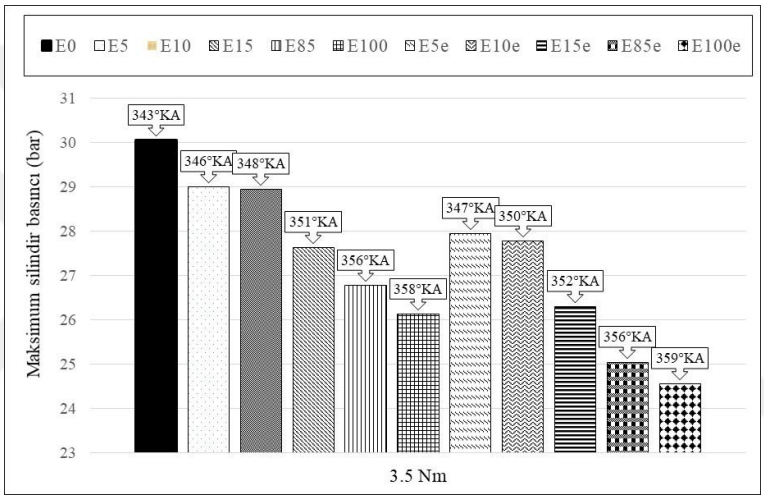
Şekil 4.11. 3 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi



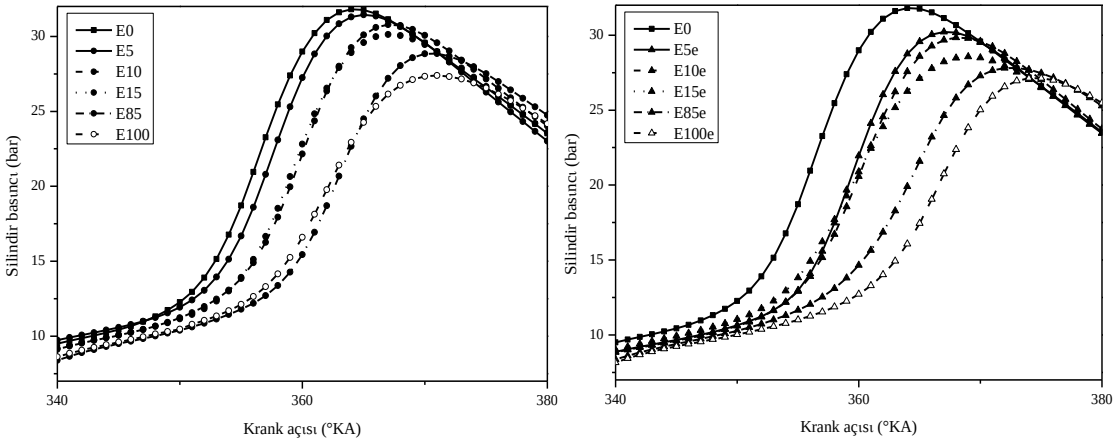
Şekil 4.12. 3 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı



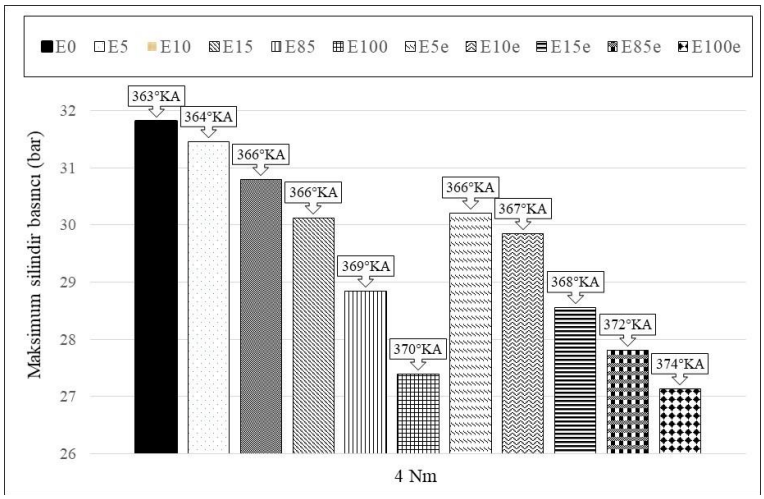
Şekil 4.13. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi



Şekil 4.14. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı



Şekil 4.15. 4 Nm'de farklı test yakıtları için silindir basıncının değişimi



Şekil 4.16. 4 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum silindir basıncı ve °KMA karşılığı

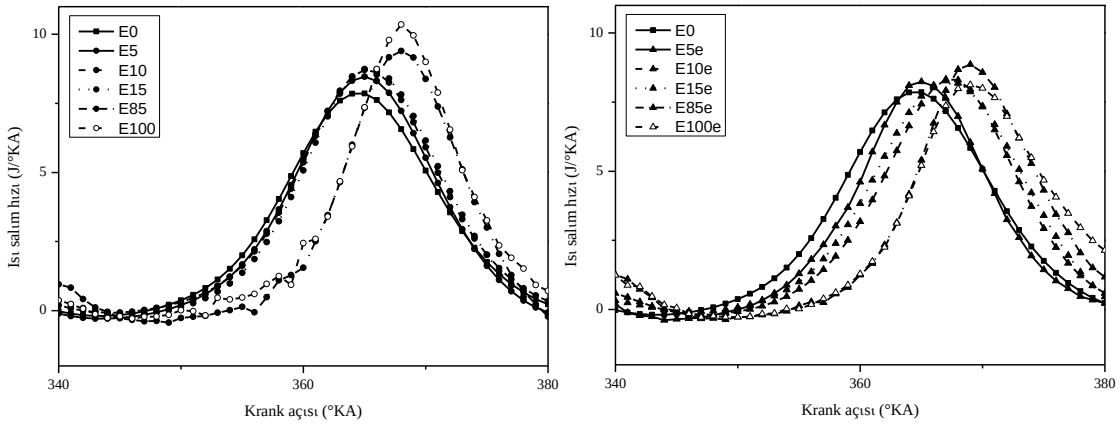
Maksimum basıncın elde edildiği krank açısı motor yükünün artmasıyla beraber ÜÖN'ya yaklaşmakta, yakıta biyoetanol ilavesi ile ÜÖN'dan uzaklaşmaktadır. Tüm motor yükleri için atık ekmek biyoetanollü karışımlar için maksimum basınca karşılık gelen krank açısının ÜÖN'dan çok daha uzakta olduğu saptanmıştır. Özelikle motorun daha kararlı çalıştığı yüksek yüklerde silindir basıncı grafiğinin altında kalan alanın benzin için daha geniş olması, yanma süresinin daha uzun olduğuna işaret etmektedir.

4.4.1.2. Isı salım hızı

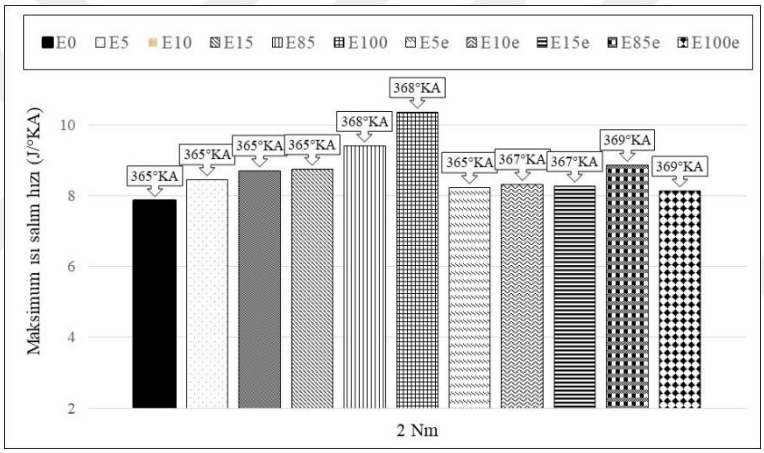
Tüm test yakıtları için, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 Nm yük değerinde ısı dağılımının krank açısına göre değişimi Şekil 4.17, 4.19, 4.21, 4.23 ve 4.25'de sunulmuştur. Isı salım hızı ateşlemenin başlaması ile yanmanın başlaması arasında kalan tutuşma gecikmesi süresince silindirden ısı çekilmesi nedeniyle azalmakta, yanma başladıktan sonra ise artarak maksimum noktaya ulaşmakta, bu noktadan sonra tekrar azalma eğilimine girmektedir. Ateşleme zamanı, sıkıştırma oranı, devir sayısı gibi parametreler değiştirilmediğinden ve deneyler yaklaşık olarak sitokiyometrik hava yakıt oranlarında gerçekleştirildiğinden, ısı salım hızındaki değişimler üzerinde yakıt türlerinin, silindir basıncı ve silindir hacminin baskın olması beklenir.

Tüm test yakıtları için motor yükündeki artışın ısı salım hızını artıran yönde bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Yakıt-hava karışımını yüksek yükte daha homojen hale getiren ve lokal heterojen oksijeni azaltan etanol varlığı, yanmayı tam yanmaya yaklaştırır (Wang ve ark., 2015).Yükteki artışla beraber, ısı salımının tepe noktaları ÜÖN'ya yaklaşmakta ve yakıta biyoetanol ilavesi ile maksimum ısı salımının elde

edildiği krank açısı ÜÖN'dan (atık ekmek biyoetanolü içerenlerinki daha uzak olmak üzere) uzaklaşmaktadır.



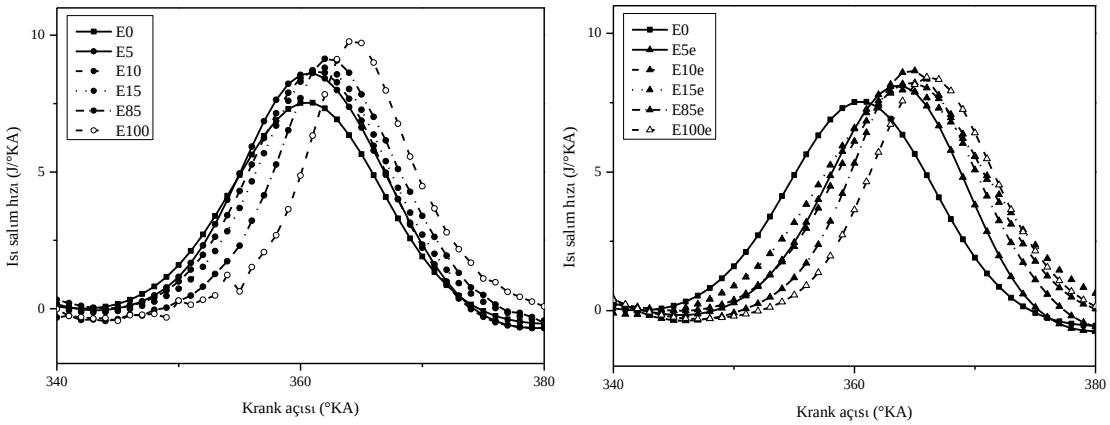
Şekil 4.17. 2 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi



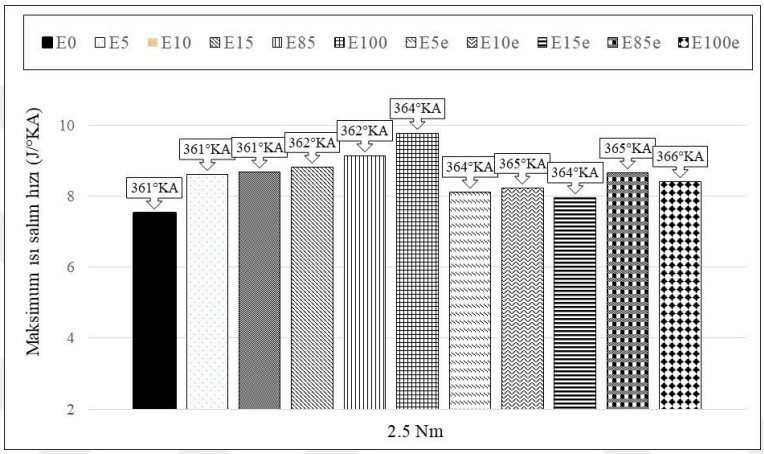
Şekil 4.18. 2 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı

Tüm motor yüklerinde maksimum ısı salım hızının en düşük değerlerini E0 yakıtı için aldığı, benzinin ısı salımı eğrisinin diğer yakıtlara nazaran daha solda olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum benzin yakıtı için silindir içi gaz basıncının daha erken yükselmesine bağlı olarak ısı dağılımının da erken oluşmasına bağlanabilir.

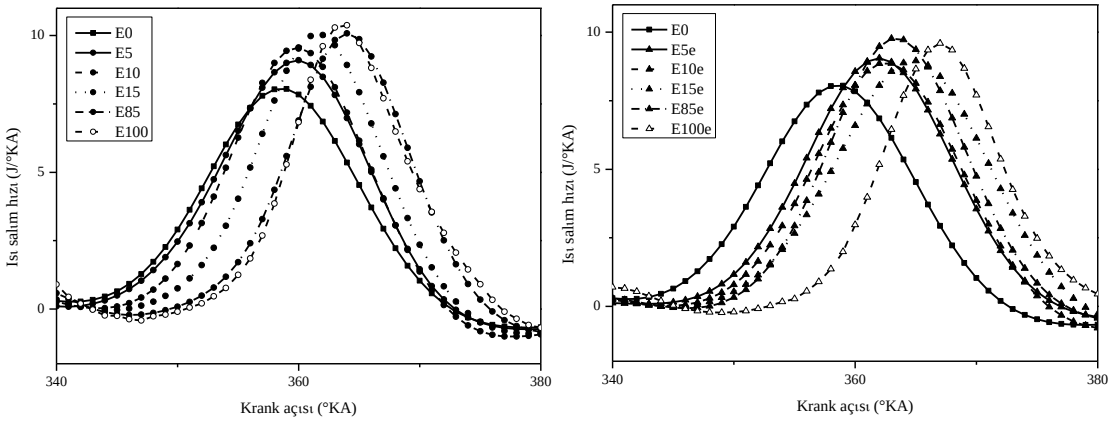
HRR'nin yüksek olması alev yayılımının hızlı olduğunun göstergesi olup ısı salımının maksimum olduğu noktalar göz önüne alındığında, (Şekil 4.18, 4.20, 4.22, 4.24 ve 4.26) biyoetanol benzin karışımlarının benzine nazaran daha yüksek tepe noktalarına sahip olduğu görülmektedir. Karışım içindeki etanol, reaksiyon hızını yükselten ve maksimum ısı salımı oranını iyileştiren yüksek sıcaklıklarda serbest radikallerin oluşumuna katkıda bulunur (Wang ve ark., 2015).



Şekil 4.19. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi



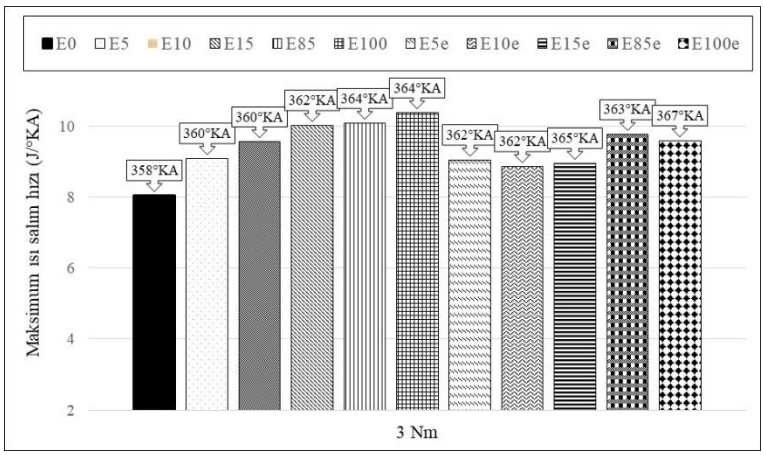
Şekil 4.20. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı



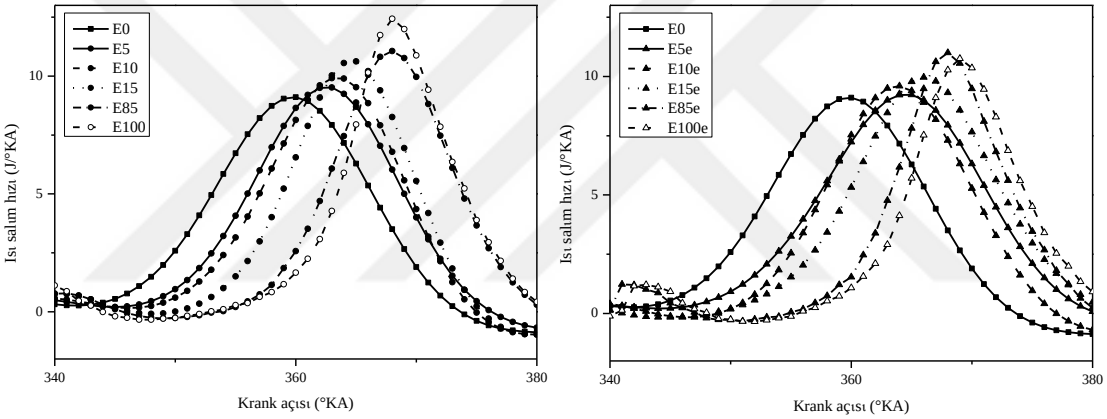
Şekil 4.21. 3 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi

Özellikle şeker pancarı biyoetanolü ilavesinin ısı salımını kademeli olarak artıran yönde bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Şeker pancarı biyoetanolünün yanma hızının içeriğindeki O_2 nedeniyle yüksek oluşu etanol ilavesinin ısı salımını artırıcı etkisini açıklamaktadır. HRR bakımından şeker pancarı biyoetanolü ve atık ekmek

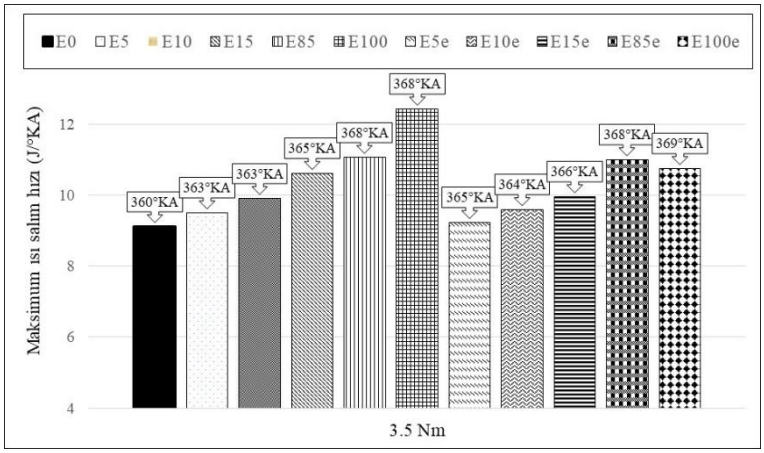
biyoetanolü içeren yakıtlar arasındaki ilişki E5e<E5, E10e<E10, E15e<E15, E85e<E85, E100e<E100 şeklindedir.



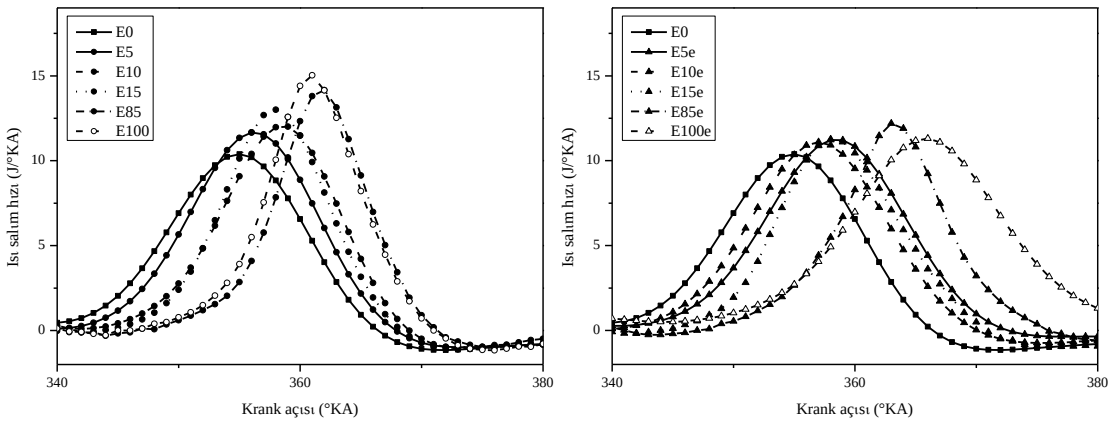
Şekil 4.22. 3 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı



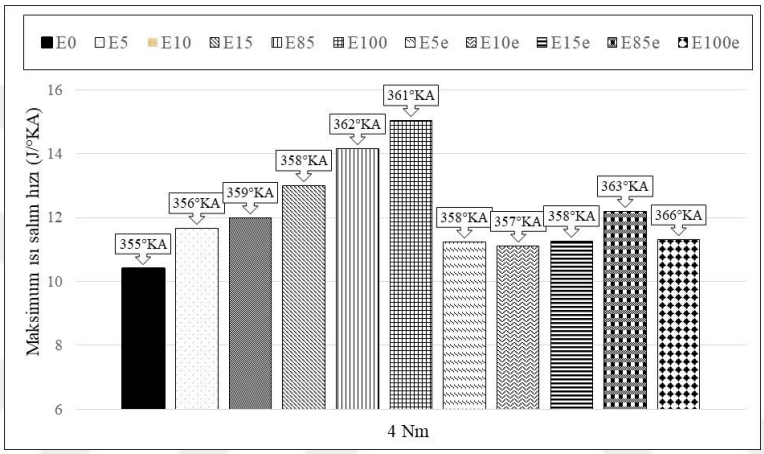
Şekil 4.23. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi



Şekil 4.24. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı



Şekil 4.25. 4 Nm'de farklı test yakıtları için ısı salım hızının değişimi



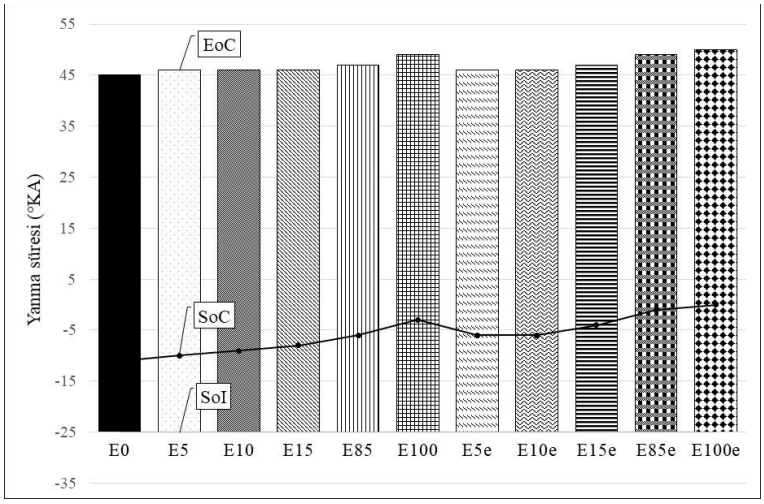
Şekil 4.26. 4 Nm'de farklı test yakıtları için maksimum ısı salım hızı ve °KMA karşılığı

4.4.1.3. Diğer yanma parametreleri

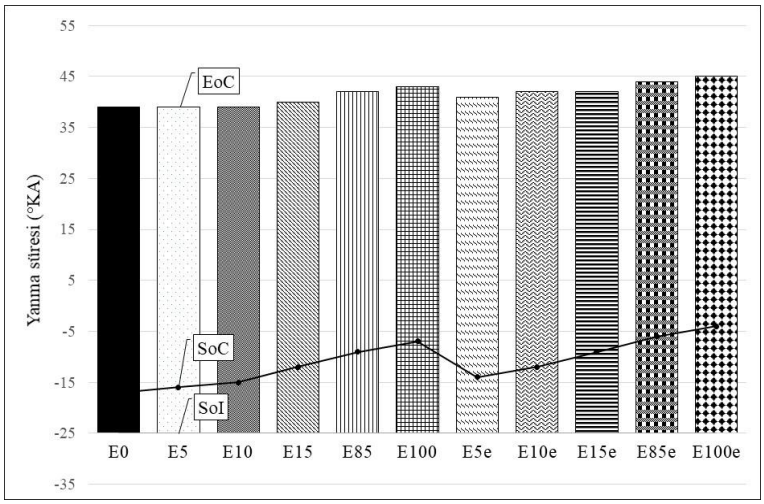
Silindir basıncının dönüm noktası olan yani ikinci türevinin sıfır olduğu krank mili açısı yanma başlangıcına (SoC) işaret etmektedir Yanmanın tüm motor yükleri için motorun E0 yakıtı ile çalışması durumunda daha erken başladığı, yakıt içindeki etanol oranı arttıkça bu noktanın ÜÖN'ya yaklaştığı görülmektedir. Aynı hacimsel içeriğe sahip karışımlar arasında atık ekmek biyoetanolü içeren yakıt karışımının, şeker pancarı biyoetanolü içeren karışıma nazaran daha geç yanmaya başladığı dikkati çekmektedir. Yanmanın geç başlaması her iki biyoetanol için de tüm yük değerlerinde ateşlemenin yapıldığı (SoI) noktası ile (SoC) arasında kalan tutuşma gecikmesi süresinin artması ile sonuçlanmıştır. E0, E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için yük ortalamalı tutuşma gecikmesi süreleri °KMA cinsinden 8.4, 9.8, 11.2, 13.4, 16.8, 19.2, 11.4, 13.2, 15.4, 19.4, 21. 8 şeklindedir. Tutuşma gecikmesi süresinin fazla oluşu alkollerin yüksek uçuculuğunun bir sonucudur.

Alevin gelişme/yayılma süresi genellikle 30-90°KMA kadar sürmektedir. Yanmanın başladığı (SoC) ile yanmanın sona erdiği (EoC) krank açıları arasında kalan yanma süresi sıkıştırma zamanının sonunda yakıtın tutuşmasının gerçekleşmesinden genişleme stroğunda maksimum silindir basıncının oluştuğu ana kadar geçen süreyi içine alır. Yanma süreleri açısından değerlendirme yapılacak olursa, benzine etanol ilavesinin yanmayı iyileştirici etkisi yanma sürelerinin kısalmasına neden olmuştur (Bayraktar, 2005). E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtlarının yanma sürelerindeki azalma, E0 ile kıyaslanınca ortalama olarak %2.03, %5.41, %10.14, %15.54, %20.27, %5.41, %8.78, %13.51, %20.27, %23.65 şeklindedir. Laminer alev hızının yakıt özelliğine, artık gaz miktarına, denklik oranına, silindir sıcaklığına ve basınca bağlı olduğu bilinmektedir (Kim ve ark., 2015). Literatürde Turner ve ark. (2011), Masum ve ark. (2013) ve daha birçokları gibi etanolün laminer alev hızının benzininkinden daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur. Turner ve ark. (2011)'ın bildirdiğine göre, standart sıcaklık ve basınçlarda (100 kPa, 325 K) stokiyometrik hava yakıt karışımları için benzin ve etanolün laminer alev hızı sırasıyla yaklaşık olarak 33 cm/s ve 39 cm/s'dir. Gerek oktan sayısındaki artış gerek de yüksek laminer hızı nedeniyle yakıta etanol ilavesi yanma süresinin azalması ile sonuçlanmaktadır (Turner ve ark., 2011; Balki ve ark., 2014).

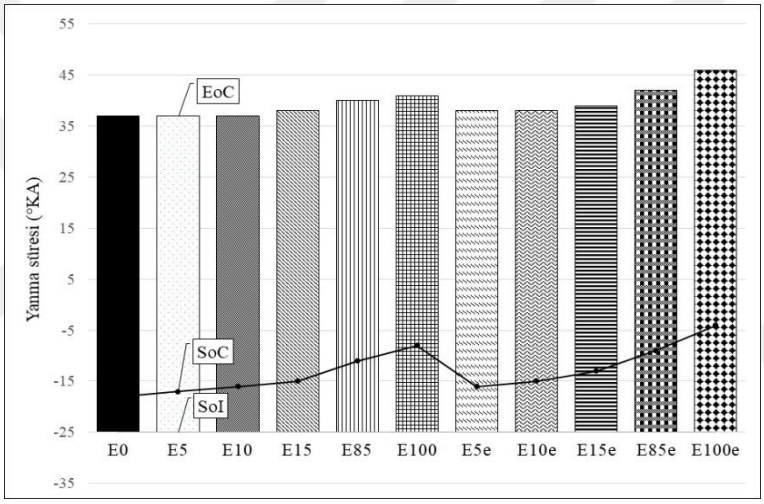
Test motorunun farklı yükler altında çalıştırılması durumunda, etanol içeriğinin bir fonksiyonu olarak SoI, SoC ve EoC noktalarının değişiminin sunulduğu Şekil 4.27, 4.28,4.29, 4.30 ve 4.31'da tüm yakıt karışımları için ateşlemenin yapıldığı krank açısının -25 ÜÖNö olduğu görülmektedir.



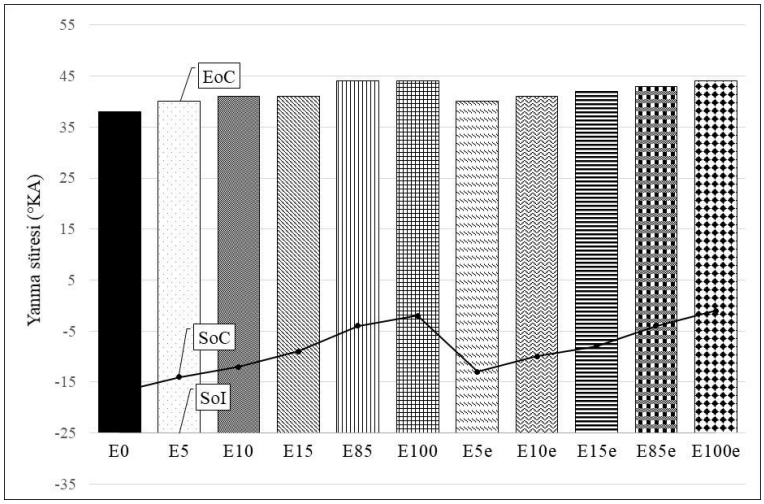
Şekil 4.27. 2 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı



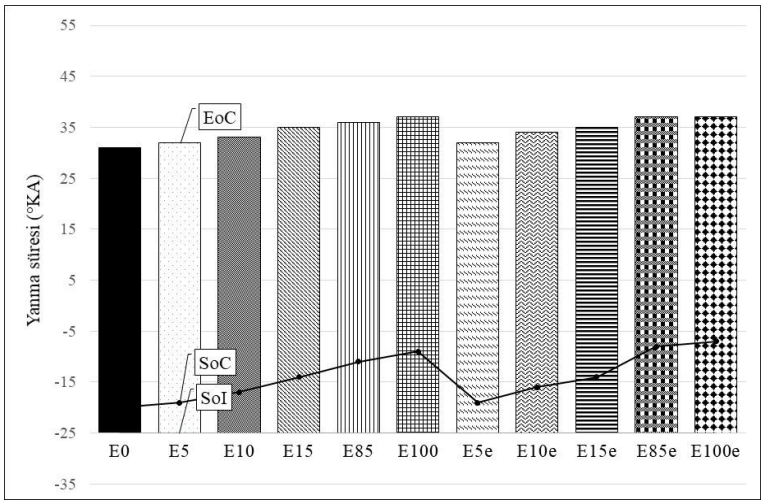
Şekil 4.28. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı



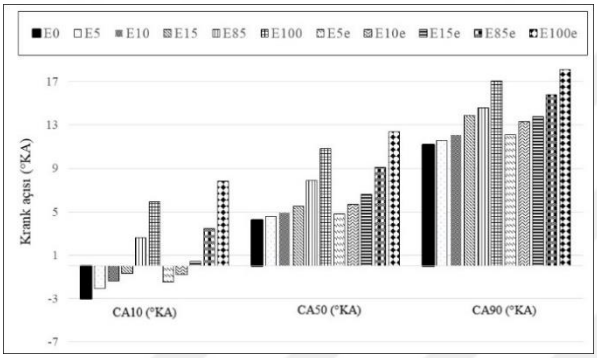
Şekil 4.29. 3 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı



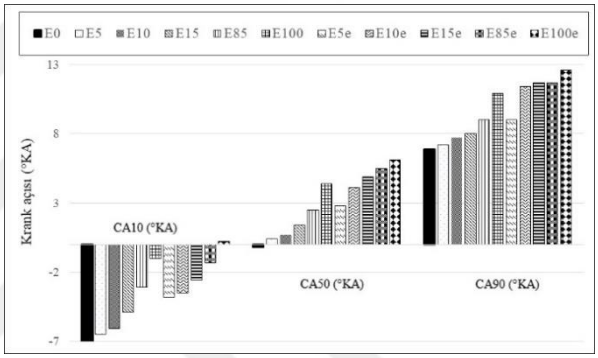
Şekil 4.30. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı



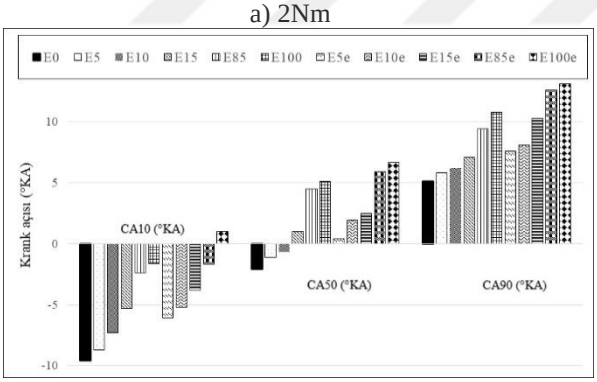
Şekil 4.31. 4 Nm'de farklı test yakıtları için SoI, SoC, EoC ve °KMA karşılığı



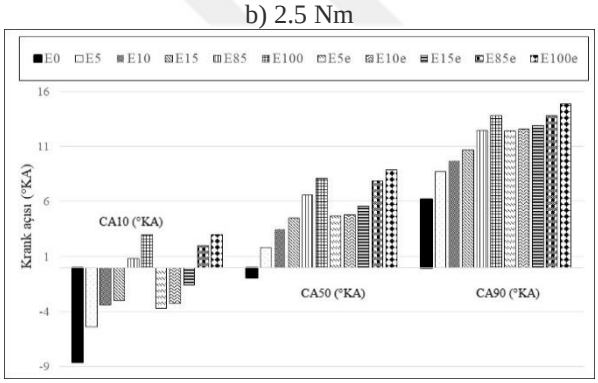
a) 2Nm



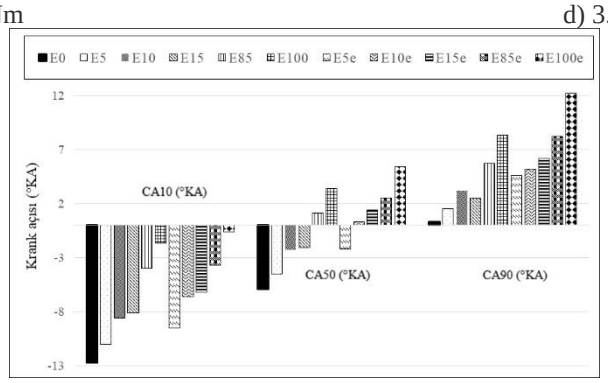
b) 2.5 Nm



c) 3Nm



d) 3.5 Nm



e) 4 Nm

Şekil 4.32. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için CA10, CA50, CA90 ve °KMA karşılığı

Tüm test yakıtları için, yakıtın %10'unun yandığı krank açısı CA10'un, %50'sinin yandığı krank açısı CA50'nin ve %90'ının yandığı krank açısı CA90'ın motor yükü ile değişimi Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Benzinli motorlarda ateşleme avansı ile CA10 arasındaki süre alevin gelişmesi, CA10 ile CA90 arasındaki süre alevin yayılması ve CA90 ile EoC arasındaki süre art yanma olarak olrak kabul edilir. Yanmş yakıt oranının %50'ye ulaştığı CA50 krank mili açısı ise motor çevrimlerinde ısı yayılım hızının maksimuma ulaştığı krank mili açısını temsil etmektedir. Motor torkundaki artışla beraber CA10, CA50, CA90'a tekabül eden krank açılarının küçülmekte olduğu, biyoetanol ilavesi ise bu açıların değerlerinin yükselmekte olduğu tespit edilmiştir. En yüksek CA10, CA50, CA90 krank açıları her daim atık ekmek biyoetanolü ile elde edilmiştir. Yukarıda bahsi geçen tüm yanma parametrelerine ait veriler Çizelge 4.6-Çizelge 4.10'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.6. 2 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi

Yanma	2 Nm										
Parametreleri	E0	E5	E10	E15	E85	E100	E5e	E10e	E15e	E85e	E100e
SoI (°KA)	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335
SoC (°KA)	349	350	351	352	354	357	354	354	356	359	360
TG (°KA)	14	15	16	17	19	22	19	19	21	24	25
$P_{maks.}$ (bar)	22.99	23.13	23.39	23.56	22.03	21.60	21.54	22.16	22.73	21.66	20.39
$\theta P_{maks.}$ (°KA)	373	373	373	374	376	376	374	375	375	378	379
HRRmaks. (J/°KA)	7.86	8.46	8.71	8.74	9.40	10.35	8.24	8.32	8.27	8.87	8.13
$\theta HRR_{maks.}$ (°KA)	365	365	365	365	368	368	365	367	367	369	369
CA10 (°KA)	357	357.9	358.6	359.3	362.6	365.9	358.5	359.2	360.4	363.5	367.8
CA50 (°KA)	364.2	364.6	364.9	365.5	367.9	370.8	364.8	365.7	366.6	369.1	372.4
CA90 (°KA)	371.2	371.6	372.1	373.9	374.6	377.1	372.1	373.3	373.8	375.8	378.1
θEoC (°KA)	380	381	381	381	382	384	381	381	382	384	385
EoC (°KA)	31	31	30	29	28	27	27	27	26	25	25

Çizelge 4.7. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi

Yanma	2.5 Nm										
Parametreleri	E0	E5	E10	E15	E85	E100	E5e	E10e	E15e	E85e	E100e
SoI (°KA)	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335
SoC (°KA)	343	344	345	348	351	353	346	348	351	354	356
TG (°KA)	8	9	10	13	16	18	11	13	16	19	21
Pmaks. (bar)	23.92	24.96	25.28	24.46	23.29	22.76	23.94	25.02	23.80	22.84	22.36
θPmaks. (°KA)	369	370	370	370	372	373	372	373	373	374	375
HRRmaks. (J/°KA)	7.53	8.62	8.68	8.81	9.14	9.77	8.12	8.22	7.96	8.65	8.42
θHRRmaks. (°KA)	361	361	361	362	362	364	364	365	364	365	366
CA10 (°KA)	352.4	353.5	353.9	355.1	356.9	359	356.2	356.5	357.4	358.7	360.2
CA50 (°KA)	359.8	360.4	360.7	361.4	362.5	364.4	362.8	364.1	364.9	365.5	366.1
CA90 (°KA)	366.9	367.2	367.7	368	369	370.9	369	371.4	371.7	371.7	372.6
θ EoC (°KA)	374	374	374	375	377	378	376	377	377	379	380
EoC (°KA)	31	30	29	27	26	25	30	29	26	25	24

Çizelge 4.8. 3 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi

Yanma	3 Nm										
Parametreleri	E0	E5	E10	E15	E85	E100	E5e	E10e	E15e	E85e	E100e
SoI (°KA)	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335
SoC (°KA)	342	343	344	345	349	352	344	345	347	351	356
TG (°KA)	7	8	9	10	14	17	9	10	12	16	21
Pmaks. (bar)	26.38	27.44	28.07	26.73	25.79	25.20	26.34	27.01	25.98	24.87	24.43
$\theta_{\text{Pmaks. (°KA)}}$	368	368	369	370	372	373	370	372	373	374	375
HRRmaks. (J/°KA)	8.05	9.10	9.56	10.02	10.08	10.38	9.05	8.87	8.96	9.77	9.59
$\theta_{\text{HRRmaks. (°KA)}}$	358	360	360	362	364	364	362	362	365	363	367
CA10 (°KA)	350.4	351.3	352.7	354.7	357.6	358.4	353.9	354.8	356.2	358.3	361
CA50 (°KA)	357.9	358.9	359.3	361	364.5	365.1	360.4	361.9	362.5	365.9	366.7
CA90 (°KA)	365.1	365.8	366.2	367.1	369.4	370.8	367.6	368.1	370.3	372.6	373.1
θ EoC (°KA)	372	372	372	373	375	376	373	373	374	377	381
EoC (°KA)	30	29	28	28	26	24	29	28	27	26	25

Çizelge 4.9. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi

Yanma	3.5 Nm										
Parametreleri	E0	E5	E10	E15	E85	E100	E5e	E10e	E15e	E85e	E100e
SoI (°KA)	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335
SoC (°KA)	343	346	348	351	356	358	347	350	352	356	359
TG (°KA)	8	11	13	16	21	23	12	15	17	21	24
Pmaks. (bar)	30.05	29.01	28.95	27.64	26.78	26.13	27.95	27.78	26.30	25.04	24.56
$\theta_{\text{Pmaks. (°KA)}}$	369	371	372	373	376	377	373	373	374	377	378
HRRmaks. (J/°KA)	9.11	9.51	9.91	10.62	11.06	12.43	9.23	9.60	9.96	11.00	10.75
$\theta_{\text{HRRmaks. (°KA)}}$	360	363	363	365	368	368	365	364	366	368	369
CA10 (°KA)	351.4	354.6	356.6	357	360.8	363	356.3	356.7	358.4	362	363
CA50 (°KA)	359.1	361.8	363.5	364.5	366.6	368.1	364.7	364.8	365.6	367.9	368.9
CA90 (°KA)	366.2	368.7	369.7	370.7	372.5	373.8	372.4	372.6	372.9	373.8	374.9
θ EoC (°KA)	373	375	376	376	379	379	375	376	377	378	379
EoC (°KA)	30	29	28	25	23	21	28	26	25	22	20

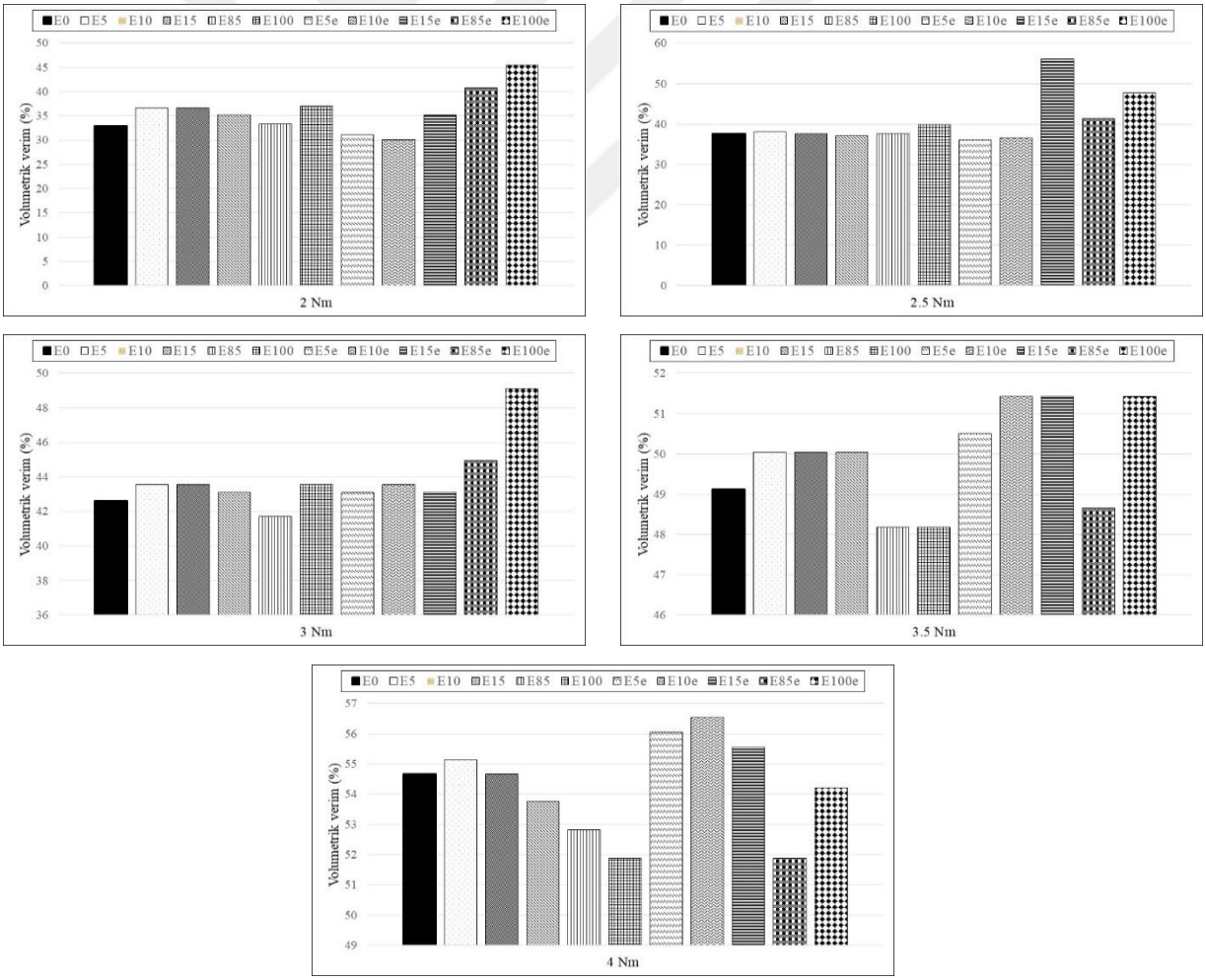
Çizelge 4.10. 4 Nm'de farklı test yakıtları için yanma parametrelerinin değişimi

Yanma	4 Nm										
Parametreleri	E0	E5	E10	E15	E85	E100	E5e	E10e	E15e	E85e	E100e
SoI (°KA)	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335
SoC (°KA)	340	341	343	346	349	351	341	344	346	352	353
TG (°KA)	5	6	8	11	14	16	6	9	11	17	18
Pmaks. (bar)	31.81	31.45	30.79	30.12	28.84	27.39	30.21	29.84	28.56	27.81	27.13
$\theta_{\text{Pmaks. (°KA)}}$	363	364	366	366	369	370	366	367	368	372	374
HRRmaks. (J/°KA)	10.39	11.66	12.00	13.00	14.15	15.04	11.22	11.10	11.26	12.20	11.30
$\theta_{\text{HRRmaks. (°KA)}}$	355	356	359	358	362	361	358	357	358	363	366
CA10 (°KA)	347.3	349	351.4	351.9	356	358.3	350.5	353.4	353.8	356.3	359.4
CA50 (°KA)	354.1	355.5	357.7	357.9	361.1	363.4	357.8	360.3	361.4	362.5	365.4
CA90 (°KA)	360.3	361.5	363.2	362.5	365.7	368.3	364.6	365.2	366.2	368.2	372.2
θ EoC (°KA)	366	367	368	370	371	372	367	369	370	372	372
EoC (°KA)	26	26	25	24	22	21	26	25	24	20	19

4.4.2. Motor Performans Parametrelerinin Değişiminin İncelenmesi

4.4.2.1. Volumetrik verim

Biyoetanolün ve benzinin harmanlanarak SI motor yakıtı olarak kullanılmasının, motor performans parametreleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardaki ortak yargı, etanolün yüksek yoğunluğu nedeniyle aynı silindir hacmini doldurmak için daha fazla yakıtın silindire enjekte edilmesi gerektiği ve bu durumun tork ve güçte artışa neden olduğu yönündedir. Biyoetanol benzin karışımlarının buharlaşma gizli ısısı, saf benzin yakıtından daha yüksektir. Bu durum, daha düşük emme manifoldu sıcaklığına neden olarak volumetrik verimin artmasına yol açar (Wu ve ark., 2004). Koç ve ark. (2009)'a ait çalışmada da benzer şekilde biyoetanolün düşük kalorifik değerinin, benzininkinden yüksek olan buharlaşma gizli ısısı ile birleştiğinde emme manifoldundaki sıcaklık düşüşünün etkisi ile volumetrik verimi artırdığı rapor edilmiştir.



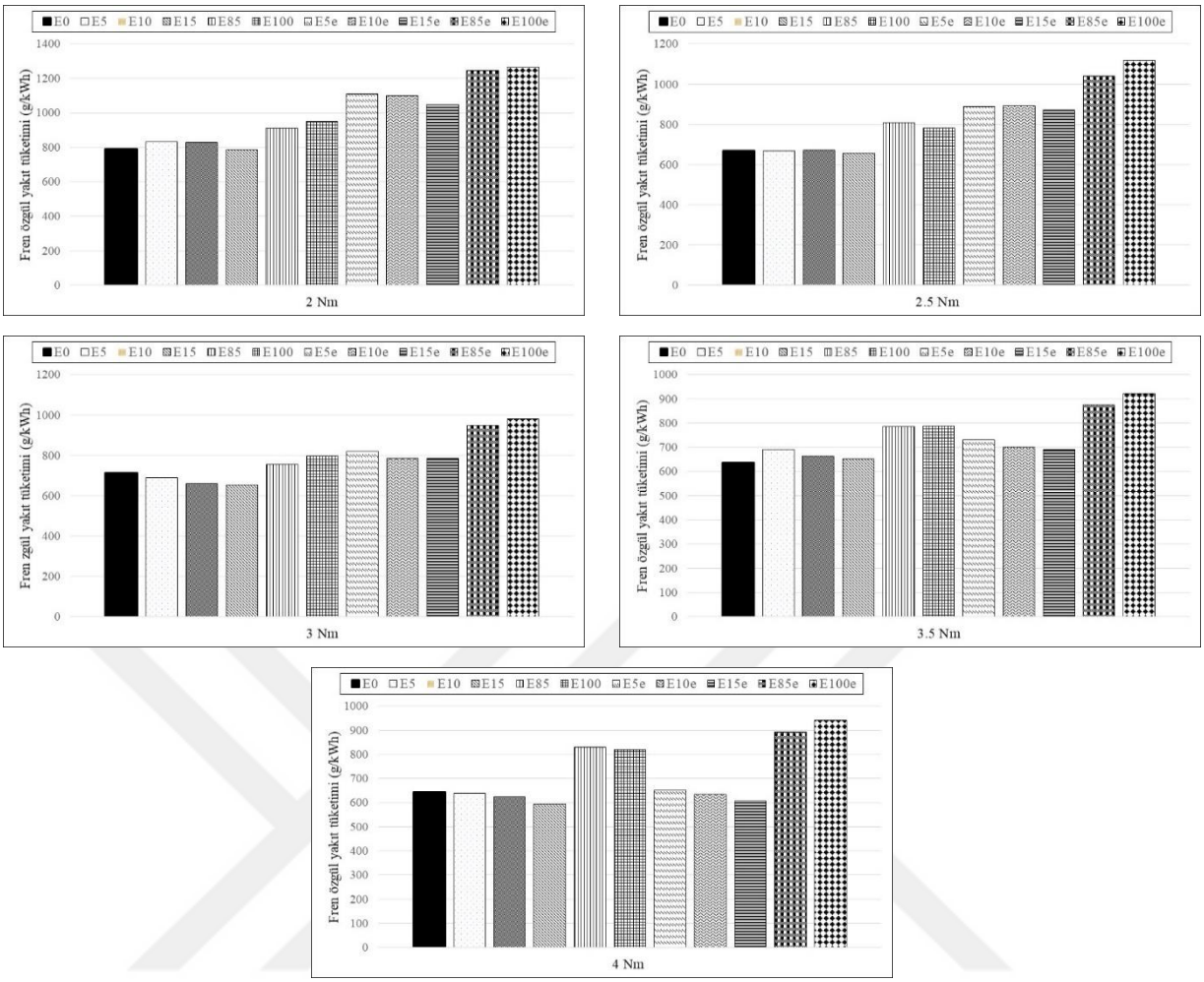
Şekil 4.33. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için volumetrik verimin değişimi

Şekil 4.33'de görüleceği üzere, tüm test yakıtları için motor torkundaki artış volümetrik verimin artması ile sonuçlanmaktadır. Yük ortalamaları değerlendirildiğinde şeker pancarı biyoetanolü için E85 dışındaki tüm yakıt karışımlarının volumetrik veriminin E0'dan yüksek olduğu görülmüştür. Atık ekmek içeren yakıt karışımlarının ise tümünün volumetrik verimi (özellikle E100e ile aralarında açık ara fark vardır) E0'a oranla yüksektir

4.4.2.2. Fren özgül yakıt tüketimi

Fren özgül yakıt tüketimi, motordan birim güç elde etmek için kullanılan yakıt miktarının bir ölçüsüdür. Çalışma kapsamında test edilen yakıt karışımlarına ait fren özgül yakıt tüketimi değerlerinin motor yüküne bağlı değişimi Şekil 4.34'de sunulmuştur. Motor düşük yük altında çalışırken daha fazla yakıt tüketmekte, motor yükündeki artış ile artan yanma verimi ve volümetrik verime bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin ilk yük değerine nazaran azaldığı görülmektedir. Her bir yük değeri için motor gücü sabit olduğundan, fren özgül yakıt tüketiminin doğrudan motora giren yakıt miktarıyla yani yakıtın yoğunluğu ile ve daha baskın şekilde alt ısıl değerle alakalı olduğu söylenebilir.

Bir oksijen atomu içeren ve kütlesinin %34.7'si oksijenden oluştuğu için oksijenize yakıt olarak değerlendirilen biyoetanolün kalorifik değeri oksijen, karbon ve hidrojen miktarının yanısıra yakıtın nem içeriği, kül ve yağ asidi içeriğine bağlıdır (Awad ve ark., 2018). Etanol içerikli yakıtların alt ısıl değerlerinin benzine nazaran düşük olması aynı gücü sağlamak için silindirlere daha fazla yakıt alınmasını gerekli kılar. Atık ekmek biyoetanolünün benzine göre %43.6, şeker pancarı biyoetanolüne göre ise %9.4 daha düşük olan alt ısıl değeri, özgül yakıt tüketiminin bu yakıtı içeren karışımlar için daha fazla olmasına neden olmaktadır. Bunun yanısıra şeker pancarı biyoetanolünün ve atık ekmek biyetanolünün yoğunluklarının benzine göre sırasıyla %8.1, %15.0 yüksek oluşu, aynı hacmi doldurmak için kütlesel olarak daha fazla etanole ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir. E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtlarının benzine kıyasla yük ortalamalı özgül yakıt tüketimindeki değişim %5.3, %4.7, %-0.8, %15.3, %19.9, %40.1, %39.0, %32.3, %57.1, %60.0 şeklindedir. Biyoetanol benzin karışımları arasında sadece E15 yakıtı için fren özgül yakıt tüketimi değerinde E0'a nazaran düşüş olduğuna dikkat edilmelidir. Tüm atık ekmek biyoetanolü-benzin karışımlarının ortalama fren özgül yakıt tüketimi değerleri hem E0'a nazaran hem de tüm şeker pancarı biyoetanolü benzin karışımlarına göre yüksektir.



Şekil 4.34. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için fren özgül yakıt tüketiminin değişimi

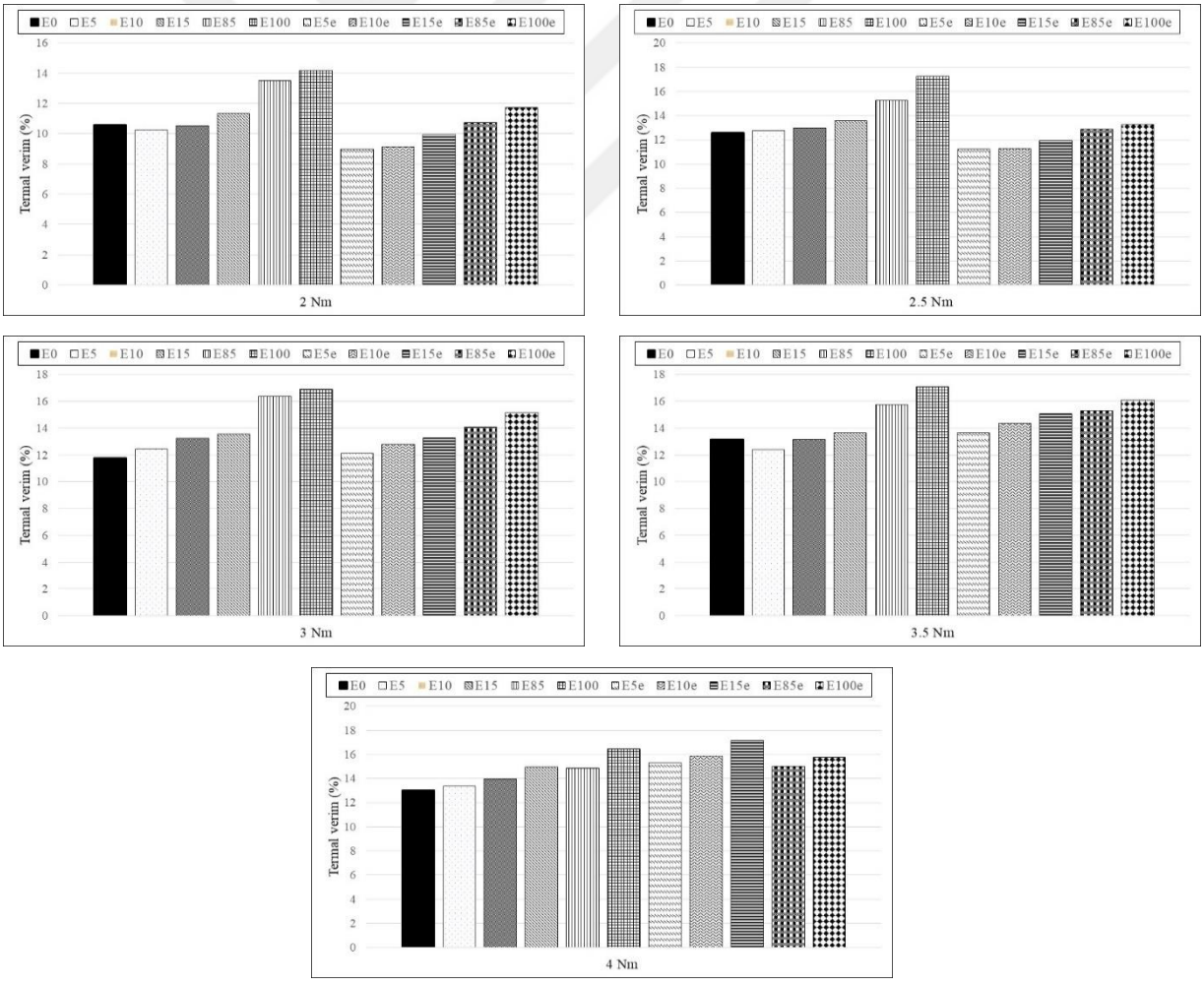
4.4.2.3. Termal verim

Motorun çalıştırıldığı yakıtın kimyasal enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülme oranını temsil eden termal verimin farklı test yakıtları için motor yükü ile değişimi Şekil 4.35'de verilmiştir. Artan motor yükü ile birlikte, tüm yakıtlar için termal verim, özgül yakıt tüketimindeki azalmaya bağlı olarak artan bir eğilim göstermiştir. En yüksek termal verim değerleri genellikle 4 Nm yükte elde edilmiştir. Termal verimin maksimum değerleri E0, E100 ve E100e yakıtları için sırasıyla yaklaşık %13.2, %17.1 ve %16.1'dir.

Gerek atık ekmek kaynaklı gerek de şeker pancarı kaynaklı biyoetanol ilavesi ile termal verimde benzine nazaran artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Alkollerin ilavesi ile artan termal verim, içeriklerindeki O_2'nin yanmayı iyileştirici etkisi ile açıklanabilir. Gaz kelebeği açıklığı sabit tutulduğunda, sabit motor hızında motora giren hava miktarı sabittir. Etanolün stokiyometrik hava yakıt oranı, benzininkinden 1.6 kat daha düşük olup, aynı λ değerini elde etmek için daha fazla etanole ihtiyaç duyulur. Bu durum etanolün

düşük alt ısıl değerinin termal verim üzerindeki olumsuz etkisini telafi ederek verimde artışa neden olur (Wu ve ark., 2004).

Biyoetanol yakıtının yüksek stokiyometrik alev hızı motor silindirine fazlaca alınan yakıtın hızlı biçimde yanmasını sağlayarak silindir duvarlarından ısı kaybının azalmasına böylece termal verimin artmasına olanak sağlar (Balkive Sayin, 2014) Bu durum (Masum ve ark., 2013) tarafından yapılan benzer bir çalışmada şöyle ifade edilmiştir: Etanolün benzinden daha yüksek laminer alev hızı, yanma işleminin erken sonlanmasını ve ısıl verimin yüksek olmasını sağlar. Yakıtın içeriğindeki biyoetanol oranı attıkça (şeker pancarı biyoetanolü için %5, %10 hariç) termal verim o oranda artmakta, yük ortalamalı termal verim en yüksek değerine E100 (%16.35) ve onu takip eden E100e (%14.97) ile ulaşmaktadır. Şeker pancarı biyoetanolünün %5 ve %10 oranında ilavesi ile E0'a nazaran termal verimde meydana gelen düşüşün bu yakıt karışımları için oktan sayısının yeterince yüksek olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

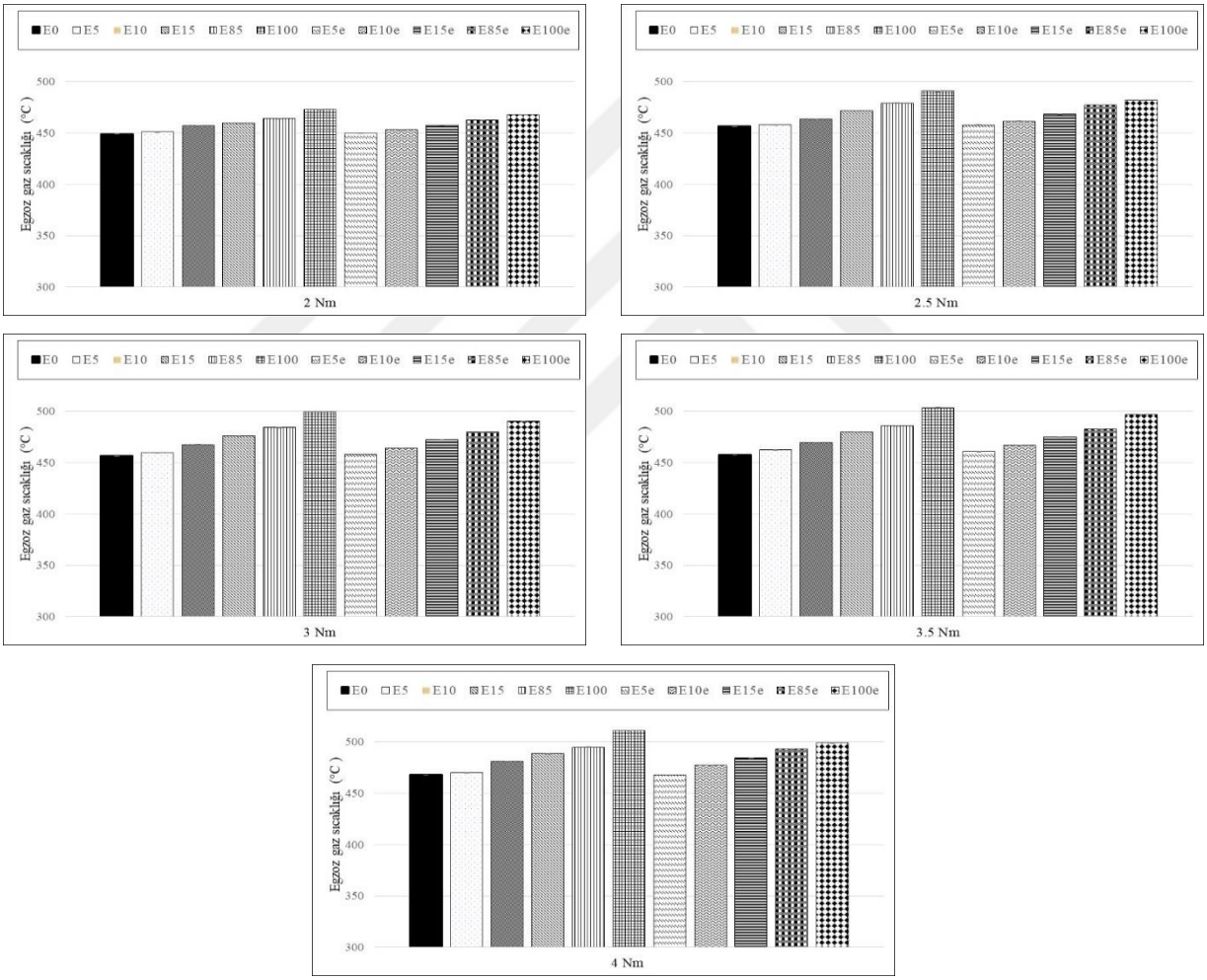


Şekil 4.35. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için termal verimin değişimi

4.4.3. Egzoz Emisyonlarının Değişiminin İncelenmesi

4.4.3.1. Egzoz gaz sıcaklıkları

Egzoz gaz sıcaklıkları silindir içinde oluşan yanma sıcaklıklarının bir göstergesidir ve özellikle NOx emisyonlarının oluşum mekanizmasında önemli rol oynar. Egzoz gazı sıcaklıklarının tespiti, egzoz emisyonlarının değişmesine neden olan olguların açıklanmasına ve yanmanın nasıl gerçekleştiğinin anlaşılmasına katkı sağlar. Egzoz gaz sıcaklıklarının değişimini sunan Şekil 4.36'dan görülebileceği üzere en düşük egzoz gaz sıcaklıkları 2Nm için elde edilmekte, yükteki artış, motorda yüksek egzoz sıcaklığı ile kendini göstermektedir.



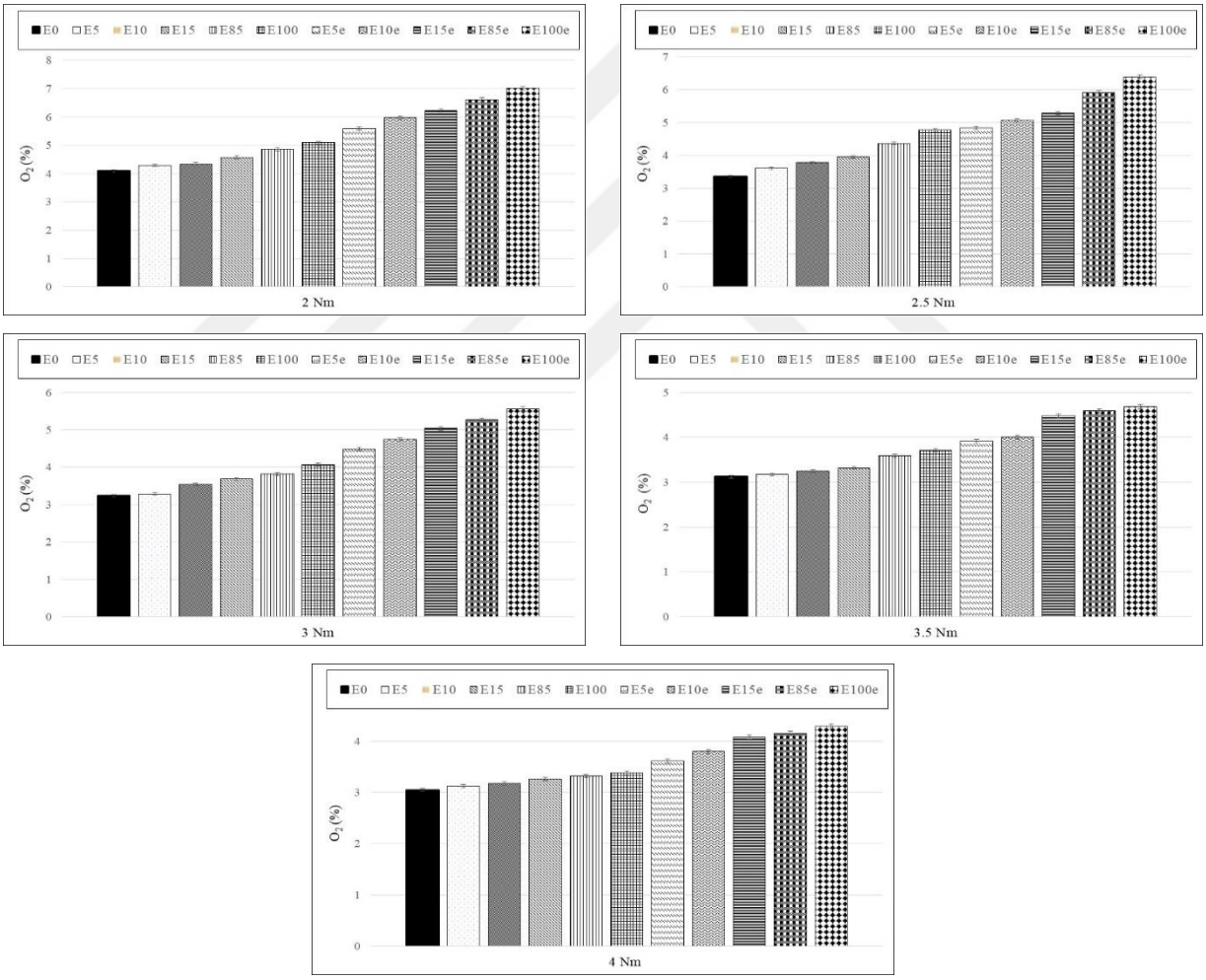
Şekil 4.36. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için egzoz gaz sıcaklığının değişimi

Biyoetanolün oksijence zengin yapısı, yüksek silindir sıcaklıkları ile birleşince yüksek egzoz gaz sıcaklıkları ortaya çıkmakta, karışımdaki etanol oranının artmasına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklıkları artmaktadır. E0 ile karşılaştırıldığında E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için egzoz gaz sıcaklıklarındaki artış

oranı %0,6, %2.25, %3.86, %5.26, %8.32, %0.3, %1.56, %3.05, %4.72, %6.49'dir. Egzoz gaz sıcaklıklarının yakıt içindeki etanol cinsine bağımlılığı oldukça azdır öyle ki benzer hacme sahip yakıt karışımları arasındaki fark %0.3 ile %1.7 arasında değişmektedir. Birbirine oldukça yakın olsa da atık ekmek biyoetanolünün içeriğindeki suyun alev söndürme etkisinin bir tezahürü olarak, egzoz gaz sıcaklıkları arasında E5e<E5, E10e<E10, E15e<E15, E85e<E85, E100e<E100 biçiminde bir ilişki olduğu bilinmelidir.

4.4.3.2. O_2 emisyonları

Motorun farklı yükler altında test yakıtları ile çalıştırılması durumunda egzoz gazları içindeki O_2 miktarının değişimi, Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.37. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için O_2 emisyonunun değişimi

Tüm test yakıtları için en yüksek O_2 emisyonunun elde edildiği yük değeri 2Nm iken, yük değerindeki artış ile birlikte artan sıcaklığın etkisi ile O_2'nin reaksiyonlara dahil olmasının bir sonucu olarak azalır ve 4Nm'de en düşük değerlerini alır. Beklendiği üzere

biyoetanolün O_2 içerikli oluşu, benzin biyoetanol karışımlarının O_2 emisyonlarının benzine nazaran daha yüksek olmasına neden olmaktadır. E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için E0'a kıyasla artış oranları %3.74, %7.36, %11.57, %18.46, %24.81, %33.30, %39.93, %49.09, %57.51, %65.82 şeklindedir.

4.4.3.3. CO emisyonları

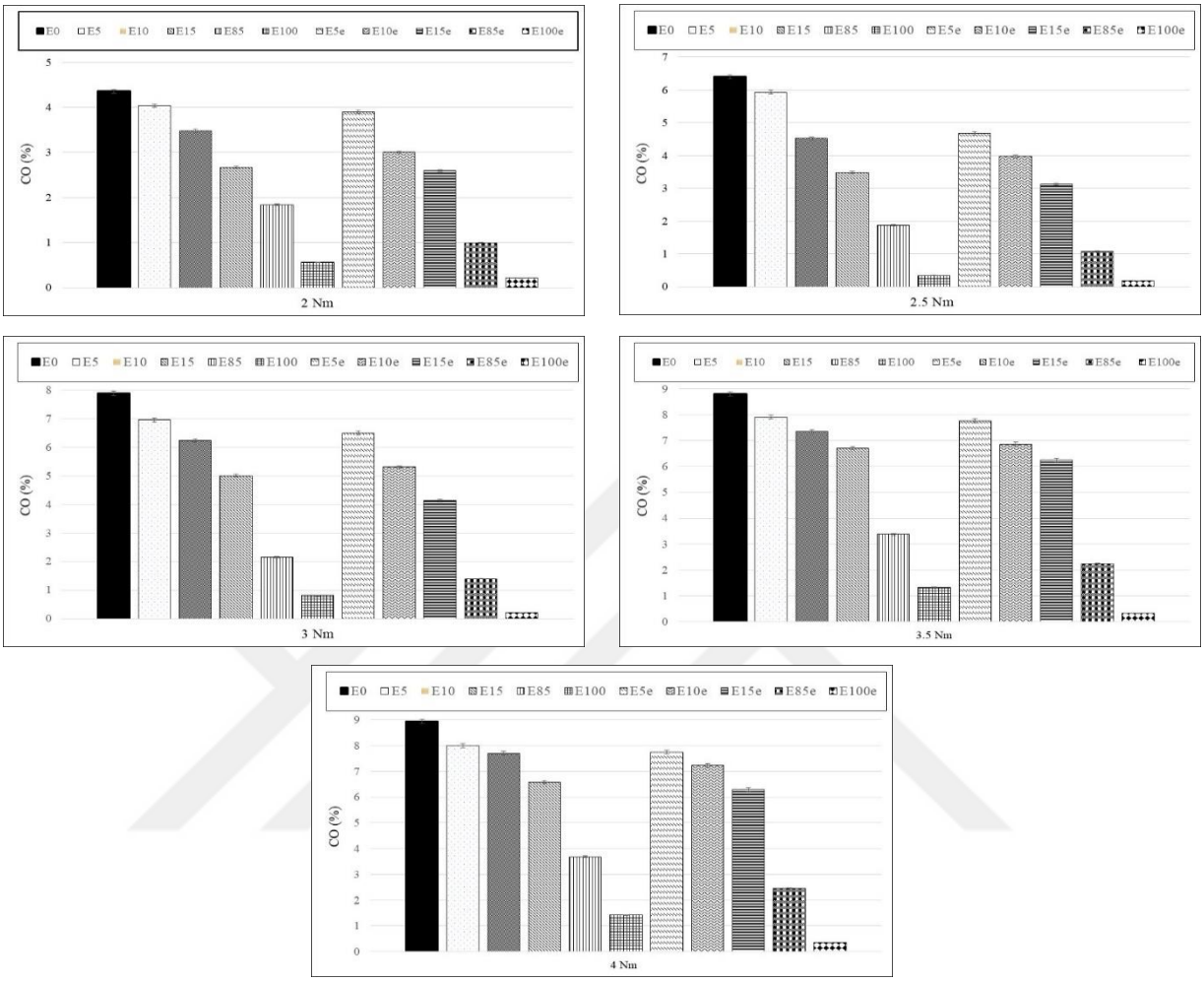
Hidrokarbon yakıtların stokiyometrik tam yanmasıyla yalnızca CO_2 ve H_2O oluşmakta fakat çeşitli sebeplerle yanma her zaman tamamlanamayabilmektedir. Motorda yanmanın tamamlanamaması ile ilişkili olarak oluşan kayıp kimyasal enerji miktarının ölçüsü olan emisyonlardan biri CO emisyonudur. Çalışma kapsamında farklı yükler altında test edilen yakıtların CO emisyonlarına etkisi Şekil 4.38'de sunulmuştur.

CO emisyonu diğer emisyonlara nazaran yük değişiminden en az etkilenen emisyonlardan biri olmakla beraber yük artışı ile yine de CO emisyonlarındaki değişim yönü artandır. Düşük yüklerde, yükteki değişimin CO emisyonları üzerindeki etkisi biraz daha belirginken, 3.5 Nm ile 4 Nm arasında bu değerler birbirine oldukça yaklaşmıştır.

Tüm yük değerlerinde en yüksek CO emisyonları, E0 yakıtı için elde edilirken, benzine gerek şeker pancarı biyoetanolünün gerekse atık ekmek biyoetanolünün ilavesi, CO emisyonlarında azalma ile neticelenmiştir. Yük ortalamalı CO emisyonları için en yüksekten en düşüğe doğru sıralama E0, E5, E5e, E10, E10e, E15, E15e, E85, E85e, E100, E100e şeklindedir. Bu sıralamaya göre alkol içerikli yakıtların E0 yakıtına kıyasla CO emisyonlarında neden olduğu azalma, sırasıyla %9.79, %15.97, %19.52, %27.54, %32.90, %38.51, %64.49, %77.65, %87.74, %96.43'tür. Atık ekmek biyoetanolü içeren yakıtlarda, şeker pancarı kaynaklı biyoetanolü içeren yakıtlara göre kademeli bir azalma olduğu saptanmıştır. Etanol türünün değişiminin, CO emisyonlarında neden olduğu azalma miktarının etanol içeriği arttıkça daha da belirginleştiği görülmüştür.

CO oluşumu silindirde yanmaya katılan oksijen miktarının ve yanma süresinin etkisi altında olup silindirdeki hava-yakıt oranı, karısımın homojenligi ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle meydana gelen ayrışma reaksiyonları önemli diger etkenlerdir (Canakci ve ark., 2009) Etanol ilavesi ile CO emisyonlarındaki azalma, etanolün içeriğindeki oksijen yardımıyla yanmayı iyileştirerek tam yanma şartlarına yaklaştırması ile ilişkilendirilebilir. Bir diğer etken ise tek bir kaynama noktasına sahip olan etanolün tamamının birlikte buharlaşması ve hava ile daha homojen karışım oluşturması ile daha temiz yanmasıdır. Etanol ilavesi ile CO emisyonlarındaki azalma (Koç ve ark., 2009) tarafından etanolün geniş tutuşabilirliği ve oksijenize yapısı ile açıklanmaktadır. Etanol

ilavesi ile CO emisyonlarında benzine nazaran görülen azalma, literatürdeki diğer çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir.



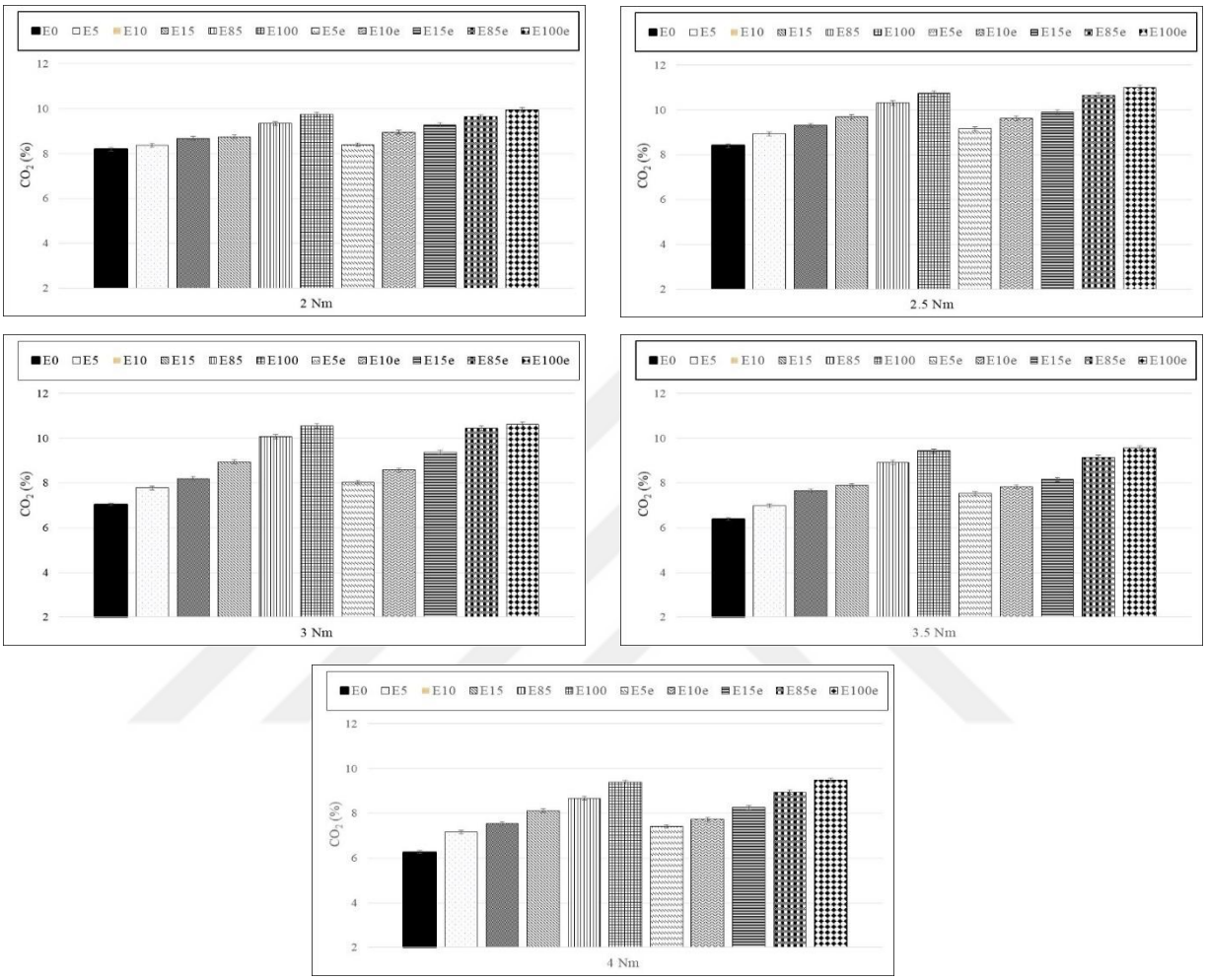
Şekil 4.38. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için CO emisyonunun değişimi

4.4.3.4. CO_2 emisyonları

CO ve CO_2 emisyonları arasında birbirlerini bütünleyen bir korelasyon mevcuttur, yani CO emisyonunun artması halinde, CO_2 emisyonu azalır veya CO emisyonunun azalması halinde, CO_2 emisyonu artar (Wu ve ark., 2004). Bu açıklamaya istinaden, test yakıtları ile farklı yükler altında çalıştırılan motorun CO_2 emisyonlarındaki değişimini sunan Şekil 4.39'dan da görüleceği gibi CO_2 emisyonları CO emisyonlarının aksine azalan bir eğilime sahiptir. Tüm test yakıtları için en yüksek CO_2 emisyonları 2.5 Nm'de elde edilirken, yüksek yüklerde CO_2 emisyonları düşme eğilimine girmiştir.

Tüm yüklerde E0 yakıtı en az CO_2 salımına neden olan yakıttır. E0 ile kıyaslandığında E5, E5e, E10, E10e, E15, E15e, E85, E85e, E100, E100e yakıtlarının CO_2 emisyonlarındaki ortalama yükselme sırasıyla %8.02, %11.68, %14.00, %17.73,

%19.62, %23.84, %30.34 ve %34.53'dir. Tüm yük durumlarında, benzer hacimsel içeriğe sahip karışımlar arasında, şeker pancarı biyoetanolü içeren yakıt karışımının atık ekmek biyoetanolü içerene nazaran (yaklaşık %1.5-%3.5) daha düşük CO_2 emisyonuna neden olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.39. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için CO_2 emisyonunun değişimi

Yakıt içindeki etanol oranının artışı ile kademeli olarak artan CO_2 emisyonları, etanolün düşük alt ısıl değerinden dolayı aynı yükü (dolayısıyla gücü) elde etmek için gerekli yakıt miktarının artması ile ilişkilidir. Bu durumla ilgili yapılan benzer bir açıklama şu şekildedir: Motordan aynı fren gücünü elde etmek için daha fazla oksijen içerikli yakıt gerekli olup, daha fazla yakıt CO_2 emisyonunun artmasına neden olabilir (Canakci ve ark., 2013). Her ne kadar etanol yakıtının içeriğindeki C oranı, benzine nazaran daha düşük olduğundan CO_2 emisyonlarında azalan etki yaratacağı düşünülse de aynı gücü elde etmek için silindir içine giren yakıt miktarının etanol yakıtı için fazla oluşu, C miktarlarını birbirlerine yaklaştırır. Bu etki etanolün içeriğindeki O_2 ile

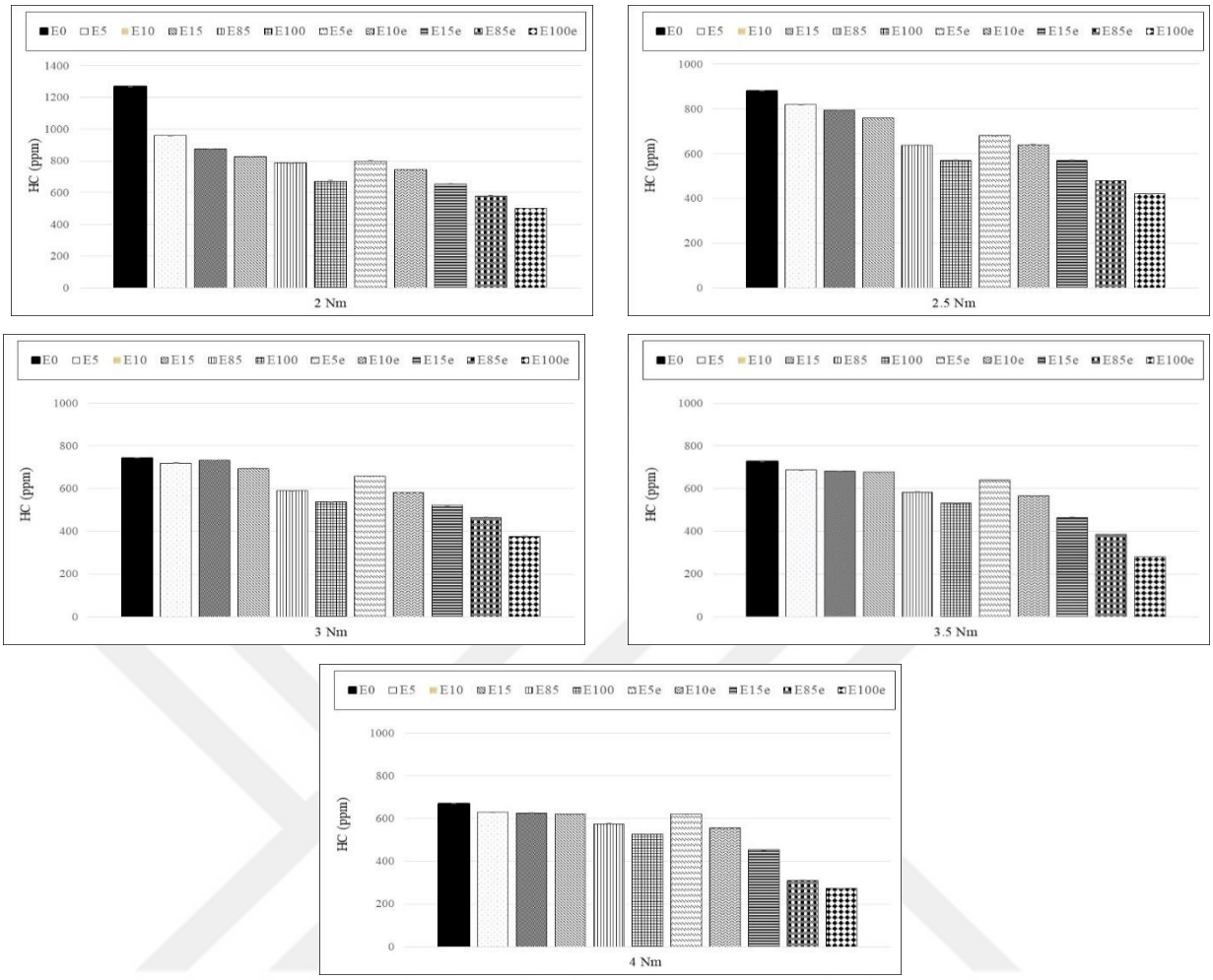
birleştiğinde CO_2 oluşum reaksiyonu için gerekli komponentler tamamlanmış olur (Balki ve ark., 2014).

4.4.3.5. HC emisyonları

HC emisyonları, yanmamış veya kısmi olarak yanmış hidrokarbonlardan oluşmakta olup bu emisyonların oluşumu genelde üç temel mekanizmaya bağlıdır. Bunlardan ilki zengin/fakir karışım şartlarında veya alevin yanma odasında yayılmasına engel olan durumlarda meydana gelen tamamlanmamış yanma iken, diğerleri yanma odası yüzeyinde veya boşluklarda gerçekleşen alev söndürme etkisi, yakıtı absorbe eden yağ tabakaları ve tortulardır (Wu ve ark., 2004). Silindir sıcaklığının bir fonksiyonu olan bu emisyonlar, en yüksek değerlerine genellikle motorun ilk hareketi sırasında ulaşmaktadırlar. Düşük yüklerde, düşük yanma sıcaklıkları nedeniyle silindir duvarında meydana gelen alev sndürme etkisi HC emisyonunu arttırır. Silindir içindeki gazın türbülans yoğunluğu, yakıt-hava karışımını daha homojen hale getiren artan motor yüküyle artar. Bu durum daha yüksek yanma sıcaklığı ve verimliliğine yol açarak yüksek yüklerde daha düşük HC emisyonuna neden olur (Wang ve ark., 2015).

Test yakıtlarının farklı yüklerdeki HC emisyonlarındaki değişimlerinin gösterildiği Şekil 4.40'dan da görüleceği gibi 2Nm yük altında çalışan motor, diğer yüklere nazaran daha yüksek HC emisyonlarına neden olmaktadır. Yük artışı ile birlikte artan silindir sıcaklığına bağlı olarak tüm test yakıtları için HC emisyonlarında azalma gözlenmekte, bu emisyonlar en düşük değerlerine 4 Nm'de ulaşmaktadır. Yük artışı ile birlikte volümetrik verimdeki artış ve yanmadaki iyileşmeler de HC emisyonlarının azalmasındaki diğer etkenlerdir.

Tüm yük değerlerinde en yüksek HC emisyonu E0 yakıtına ait olup biyoetanol ilavesi oksijen varlığı nedeniyle HC emisyonlarının azalması ile sonuçlanır (Wang ve ark., 2015). E0'a kıyasla E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtlarının HC emisyonlarındaki ortalama azalma sırasıyla %11.08, %13.55, %16.63, %26.05, %33.86, %20.76, %28.03, %37.90, %48.27, %56.95'dir. Biyoetanol tipinin yakıt karışımlarının HC emisyonu salınımını etkilediği görülmektedir. Aynı oranda benzin içeren karışımlar arasında ekmek biyoetanolü içeren yakıt karışımı, şeker pancarı biyoetanolü içeren yakıt karışımına nazaran daha düşük (yaklaşık %10.9-%30.1) HC emisyonuna neden olmaktadır. HC emisyonları bakımından E5-E5e, E10-E10e ve E15-E15e arasındaki farklar daha küçükken yakıt içindeki biyoetanol oranı arttıkça farkın açıldığı saptanmıştır.



Şekil 4.40. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için HC emisyonunun değişimi

Etanol ilavesi ile HC emisyonlarındaki azalmaya dair sonuçlar literatürdeki daha önceki çalışmaları desteklemektedir. Birçok çalışma, ekstra oksijen molekülü oksidasyonu arttırdığı için etanol kullanımının HC emisyonlarının azaltılmasında olumlu bir etkisi olduğunu bildirmektedir (Koç ve ark., 2009; Turner ve ark., 2011; Melo ve ark., 2012). Biyoetanol ilavesi ile HC emisyonlarındaki azalma (Koç ve ark., 2009) tarafından biyoetanolün karışımı fakirleştirici etkisi ve yakıt karışımına sağladığı ilave oksijen ile açıklanmıştır. Etanol ilavesi ile artan yanma verimi de, HC emisyonlarının azalmasına neden olan bir diğer etkendir (Canakci ve ark., 2013).

4.4.3.6. NOx emisyonları

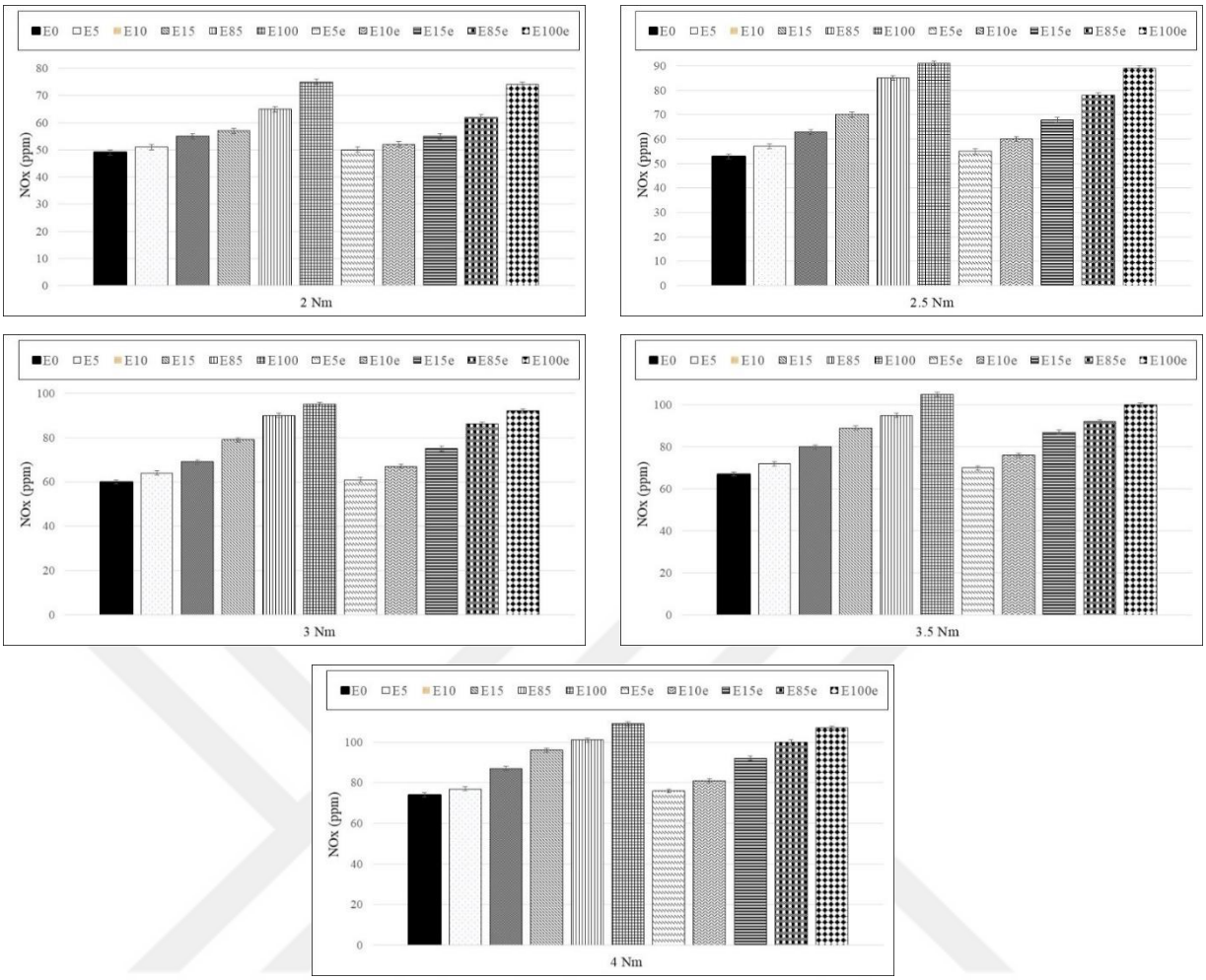
Azot monoksit (NO), azot dioksit (NO_2), diazot oksit (N_2O), diazot trioksit (N_2O_3), diazot tetroksit (N_2O_4), diazot pentoksit (N_2O_5) gazlarının karşımlarından oluşan (ki bunlardan en belirgin olanları NO ve NO_2'dir) azot oksitler genellikle NOx kısaltmasıyla ifade edilir (Masum ve ark., 2013). NOx emisyonları, genellikle yanma

havasının içinde bulunan azot moleküllerinin, yüksek yanma sıcaklıklarının etkisi ile oksidasyonu sonucu oluşur. SI motorunda ısıl değer, gizli buharlaşma ısısı, oksijen içeriği, laminer alev hızı vb. yakıt özelliklerinin yansıra yanma sıcaklığı, yanma süresi NOx oluşumunda etkin parametrelerdir (Canakci ve ark., 2013) (Masum ve ark., 2013).

Farklı test yakıtları için NOx emisyonlarının motor yükü ile değişimi Şekil 4.41'de gösterilmiştir. En düşük NOx emisyonları motorun 2 Nm yük altında çalıştırılması durumunda elde edilmiştir. Silindir sıcaklıklarında ve egzoz sıcaklıklarında ve yakıt tüketiminde yükselişi beraberinde getirdiğinden motor yükünün artırılması, NOx emisyonlarında artış ile sonuçlanır. Özellikle biyotanolün yüksek alev hızına sahip yapısı, yüksek motor yüklerinde tam yanmaya yardımcı olarak NOx emisyonlarının artmasına neden olur (Masum ve ark., 2013).

Tüm yük değerlerinde en düşük NOx emisyonları E0 yakıtı için elde edilmekte, yakıtın etanol içeriğinin artması, oksidasyon için gerekli oksijeni sağlayarak NOx emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Oksijen bakımından zengin yapı, yüksek egzoz gazı sıcaklığı nedeniyle yüksek olduğu düşünülen silindir içi sıcaklıklarla birleştirildiğinde, NOx emisyonlar üzerinde artırıcı etkiye neden olur. E0'a kıyasla NOx emisyonlarındaki ortalama artış E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için sırasıyla %2.97, %10.89, %24.42, %37.95, %52.48 iken E5, E10, E15, E85, E100 yakıtları için sırasıyla %5.94, %16.83, %29.04, %43.89, %56.77'dir. Etanol ilavesinin NOx emisyonlarında artış meydana getirdiğine dair bulgular, birçok araştırmacı tarafından da sunulmuştur (Hsieh ve ark., 2002; Najafi ve ark., 2009; Keskinve Gürü, 2011; Schifter ve ark., 2011)

Biyoetanolün buharlaşması ile endotermik bir reaksiyon meydana gelmekte, özellikle atık ekmek biyoetanolü içeren yakıt karışımları için, silindir basıncı benzine kıyasla büyük oranda azalmaktadır. Bu durum silindirdeki ısı kayıplarını bir miktar engellerken yüksek sıcaklıkların hakimiyeti altında olan NOx emisyonunun minimize edilmesinde etkili olabileceği yönünde (örneğin: Srinivasanve Saravanan (2010)) görüşler mevcuttur. Atık ekmek biyoetanolünün bir miktar su içermesi, alev hızının bir miktar düşmesine ve suyun buharlaşması için gerekli ısıyı silindir içerisinden karşılamasına böylelikle silindir içi sıcaklıkların ve paralel olarak egzoz sıcaklıklarının şeker pancarı biyoetanolüne göre daha az olmasına neden olmaktadır. Bu olgu NOx emisyonları için benzer hacimsel içeriğe sahip yakıtlar arasında E5>E5e, E10>E10e, E15>E15e, E85>E85e ve E100>E100e şeklinde bir ilişki olmasının nedenini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.41. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için NOx emisyonunun değişimi

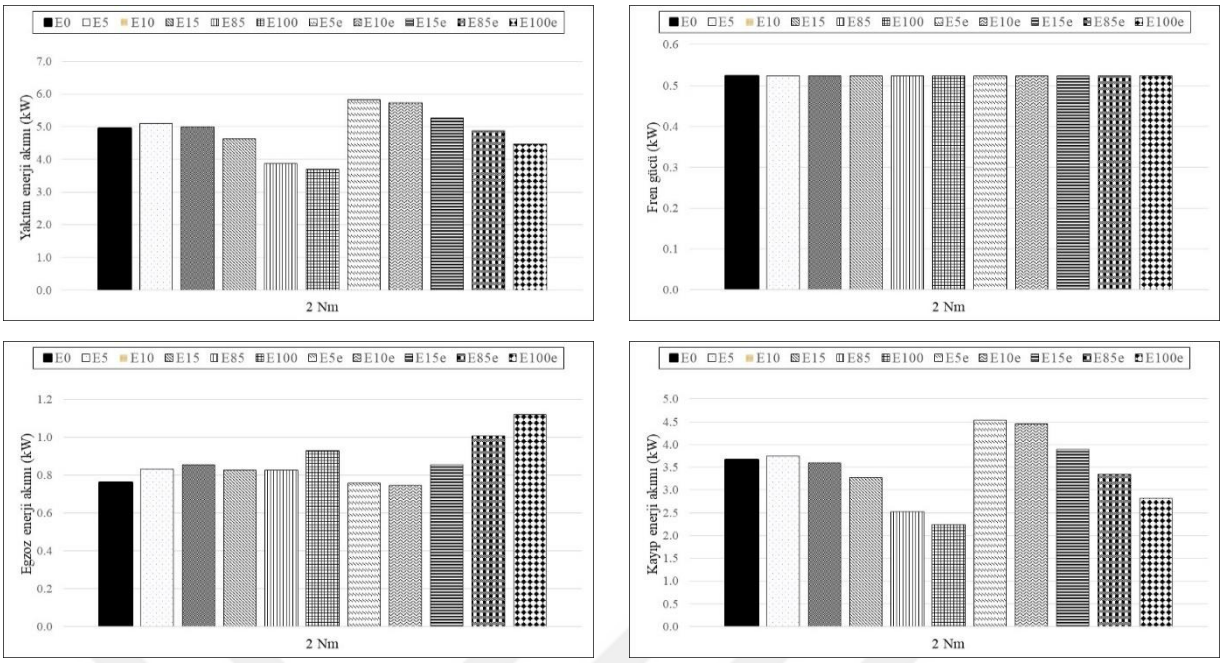
4.4.4. Termoekonomik Analiz Parametrelerinin Değişiminin İncelenmesi

4.4.4.1.Termodinamik Analiz

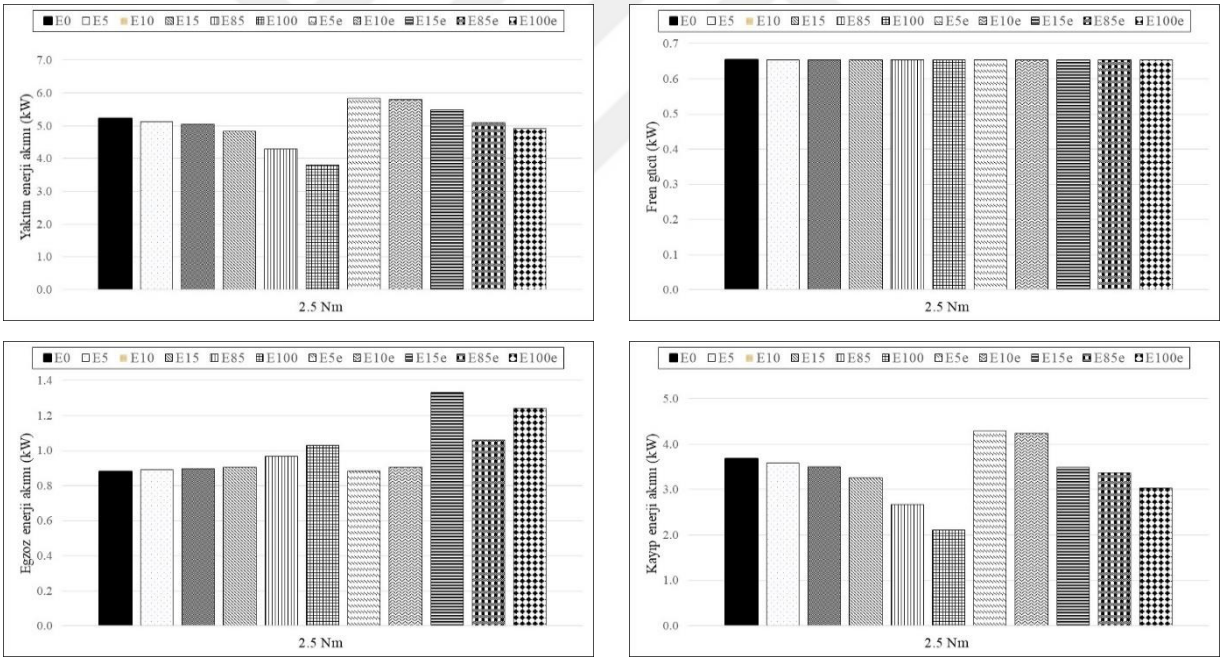
4.4.4.1.1. Enerji Analizi

Çalışma kapsamında motorun farklı yükler altında çalıştırılması ile test edilen biyoetanol-benzin karışımlarına ait enerji akımlarının dağılımları Şekil 4.42-Şekil 4.46'da verilmiştir. Dağılımlar için temel alınan enerji akımları yakıtın enerji akımı, fren gücü, egzoz enerji akımı ve kayıp enerji akımıdır.

Yakıt enerji akımı yakıtın yanması ile açığa çıkan kimyasal enerjisiyi temsil etmektedir (Geçgel, 2018). Tüm test yakıtları için bu akımın, silindire daha fazla dolgu girmesinden ötürü motor yükü arttıkça arttığı görülmektedir. Neredeyse tüm test yakıtları için en belirgin artış 2.5 Nm yük ile 3 Nm yük arasında meydana gelmiştir. Yakıt enerji akımının yük ortalamaları E0, E5, E10, E15, E85, E100 için 6.4, 6.4, 6.1, 5.8, 5.2, 4.8 kW ve E5e, E10e, E15e, E85e, E100e için 6.3, 6.1, 5.8, 5.7 ve 5.4 kW büyüklüğündedir.



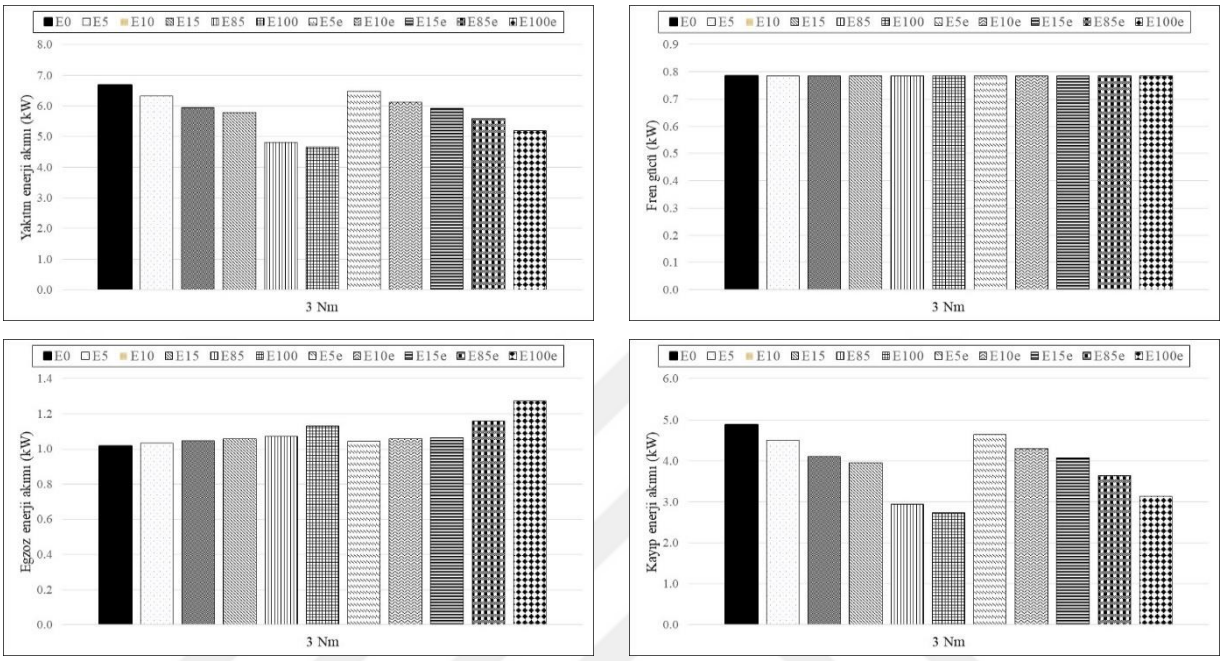
Şekil 4.42. 2 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı



Şekil 4.43. 2.5 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı

Egzoz gazları bünyesinde toplanan ısı enerjisini ifade eden egzoz enerji akımı, egzoz gazlarının entalpilerinden ve dolayısıyla egzoz gaz sıcaklığından etkilenir. Yanma denklemindeki her bir egzoz bileşeninin kompozisyonu da bu akımı etkileyen bir diğer faktördür. Motor yükündeki artışın, egzoz enerji akımını kademeli olarak (değerler birbirine oldukça yakın olmak üzere) artıran yönde etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Minimum egzoz enerji akımı E0 yakıtı için elde edilirken, benzine biyoetanol ilavesi, egzoz enerji akımının artması ile sonuçlanmıştır. Yük ortalamaları dikkate alındığında, E0'a göre egzoz enerji akımlarındaki artış, E5, E10, E15, E85, E100 yakıtları için %3, %4.1, %4.2, %5.9, %12.8 iken E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için %1.7, %3.5, %14.2, %14.2, %25.7 olarak hesaplanmıştır.

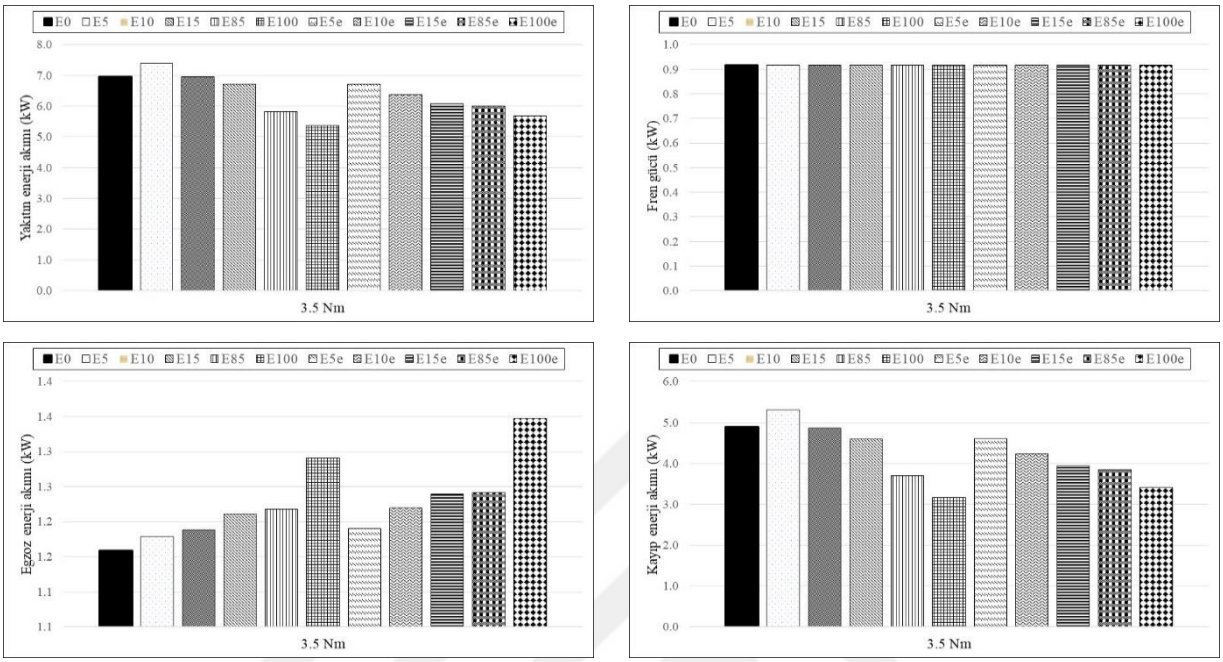


Şekil 4.44. 3 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı

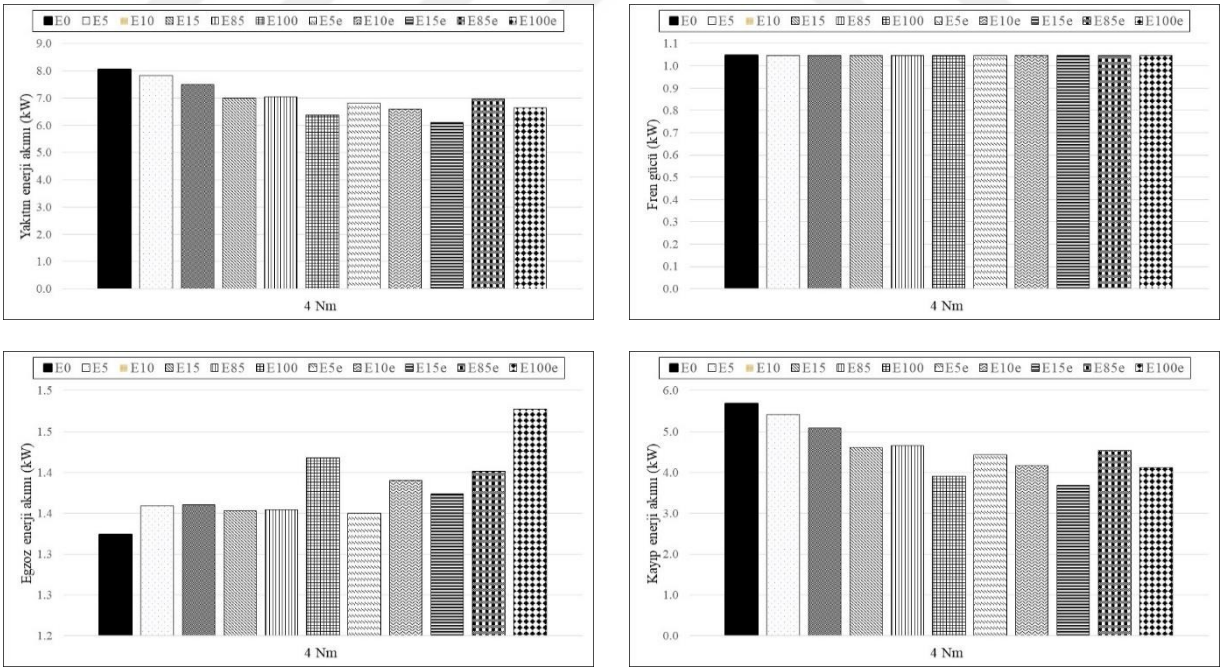
Genellikle tüm test yakıtları için yük artışı, kayıp enerji akımındaki artışı beraberinde getirmiş, en yüksek artış 2.5 Nm ile 3 Nm arasında elde edilmiştir. Şeker pancarı biyoetanolünün benzine ilavesi tüm yük değerlerinde kayıp enerji akımını azaltırken, atık ekmek biyoetanolünün benzine %5 ve %10 ilavesi düşük yüklerde (2, 2.5 Nm) bir miktar artışla sonuçlanmıştır. E0'a göre, E5, E10, E15, E85, E100 yakıtlarının kayıp enerji akımlarındaki ortalama azalma %1.0, %7.2, %13.6, %27.7, %37.9 iken E5e, E10e, E15e, E85e, E100e için bu oran %1.1, %6.1, %16.3, %17.8, %27.5'dir. Kayıp enerji akımının en düşük değerlerini %85 ve %100 biyoetanol içeren yakıt karışımları için aldığı söylenebilir.

Motor performans parametrelerinden biri olan termal verim, enerji dağılımında yakıt enerji akımınının fren gücüne dönüşen kısmını temsil eder. Motorun farklı yükler altında test yakıtları ile çalıştırılması durumunda termal veriminde meydana gelen değişiklikler Şekil 4.47'de sunulmuştur. Termal verimin motor yükündeki artışla beraber artma eğiliminde olduğu görülmüştür. En yüksek artış oranı, 2 Nm ile 2.5 Nm arasında elde edilmiştir. Motor yükü sabitken motor gücü de sabit olduğundan, termal verim

yalnızca yakıt enerji akımının bir foksiyonudur. Yük ortalamasına göre en düşük termal verimin benzin için elde edildiği, yakıt karışımları içerisindeki biyoetanol oranının arttırılmasının termal verimi artırdığı saptanmıştır.



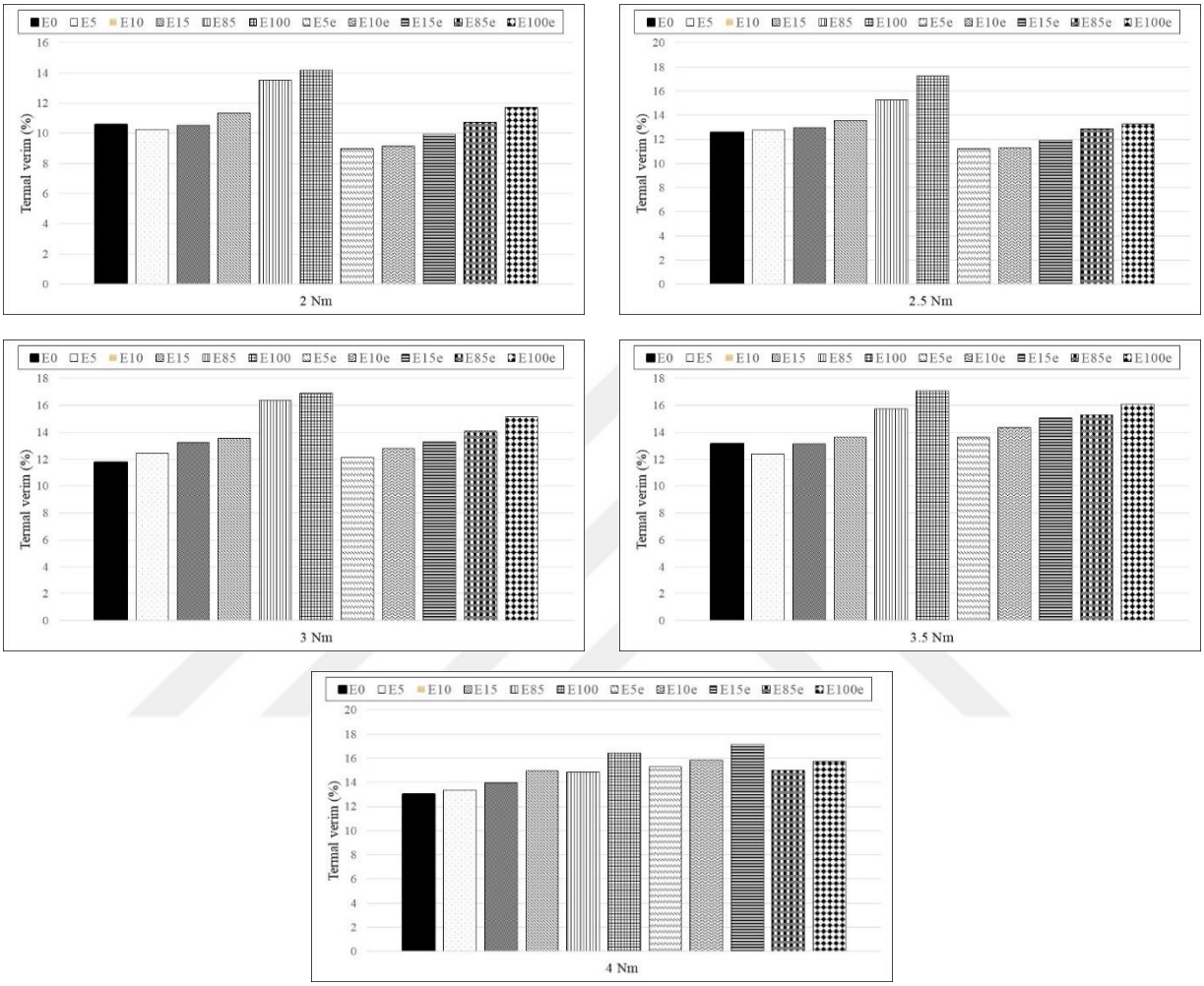
Şekil 4.45. 3.5 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı



Şekil 4.46. 4 Nm'de farklı test yakıtları için enerji akımlarının dağılımı

Şeker pancarı biyoetanolünün benzine sırasıyla %5, %10, %15, %85 ve %100 oranlarında ilavesi, termal verimde %0.2, %4.5, %9.8, %24, %34 artışla sonuçlanmıştır.

Atık ekmek biyoetanolünün termal verimde yarattığı etki, şeker pancarı biyoetanolününkünü yakalayamamış olsa da benzine kıyasla termal verimi iyileştirdiği saptanmıştır. Bu artışlar E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için sırasıyla %0.4, %3.9, %10.3, %11.3, %17.9 şeklindedir.



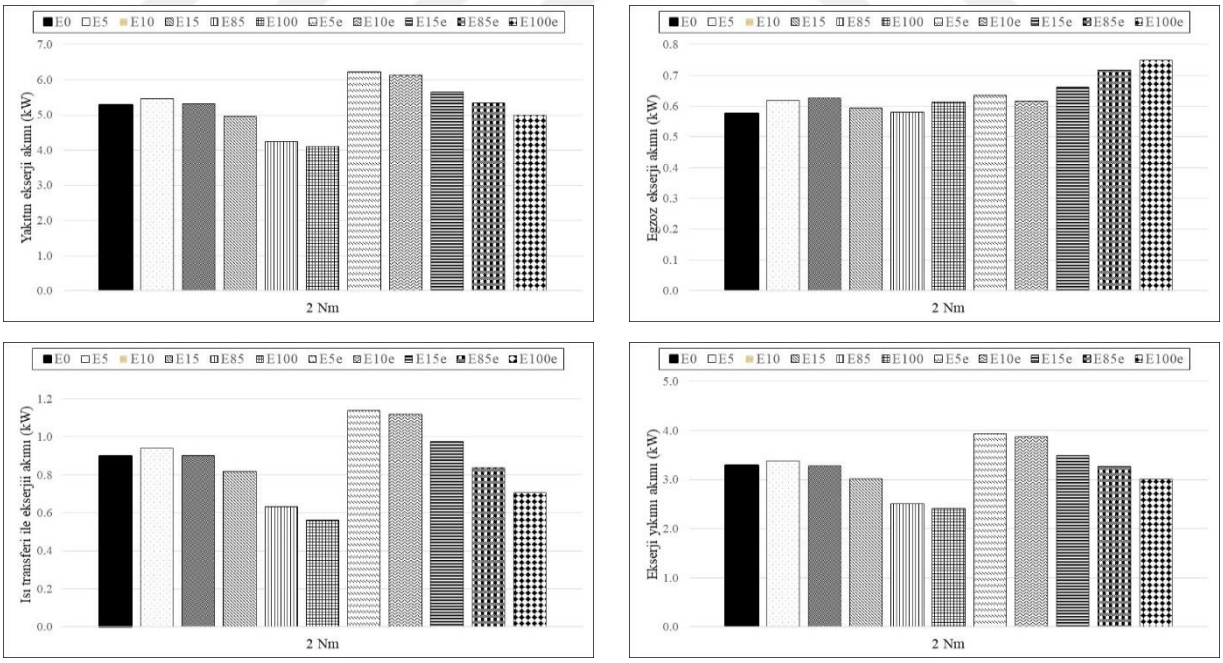
Şekil 4.47. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için termal verimin değişimi

4.4.4.1.2. Ekserji Analizi

Bu bölümde çalışmada kullanılan biyoetanol benzin karışımlarının farklı yüklerde test edilmesinin ekserji analizi parametrelerine etkileri araştırılmış, sonuçlar Şekil 4.48-Şekil 4.52'de rapor edilmiştir. Ekserji analizi kapsamında değerlendirilen parametreler yakıtın ekserji akımı, egzoz ekserji akımı, ısı transferi ile ekserji akımı ve ekserji yıkımı akımıdır. Güç ekserji akımı fren gücüne eşit olduğundan ekserji analizi başlığı altında tekrar sunulmamıştır. Yakıtın ekserji akımı, yakıtın faydalı güç üretmek için var olan enerjisinin yakıt enerjisi kadar değil, yakıt enerjisinin ekserji faktörü misli kadar olduğunu ifade eder. Tüm test yakıtları için en düşük yakıt ekserji akımı, motorun 2 Nm

yük altında çalışması durumunda elde edilmiş olup, bu akım yükteki artışla birlikte artan yönde bir yönelim göstermiştir. En yüksek artış oranı genellikle 2.5 Nm ile 3 Nm arasında elde edilmiştir. Yük ortalamalı yakıt ekserji akımı E0, E5 ve E5e yakıtları için oldukça yakın olup bu değerin yaklaşık 6.8 kW olduğu söylenebilir. Karışımlar içindeki biyoetanol oranları arttıkça yük ortalamalı yakıt ekserji akımı azalmıştır. Bu azalma oranı E5, E10, E15, E85, E100 için %0.2, %4.3, %8.9, %16.8, %22.0 iken E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için sırasıyla %0.4, %3.7, %9.2, %8.1, %11.7 şeklindedir.

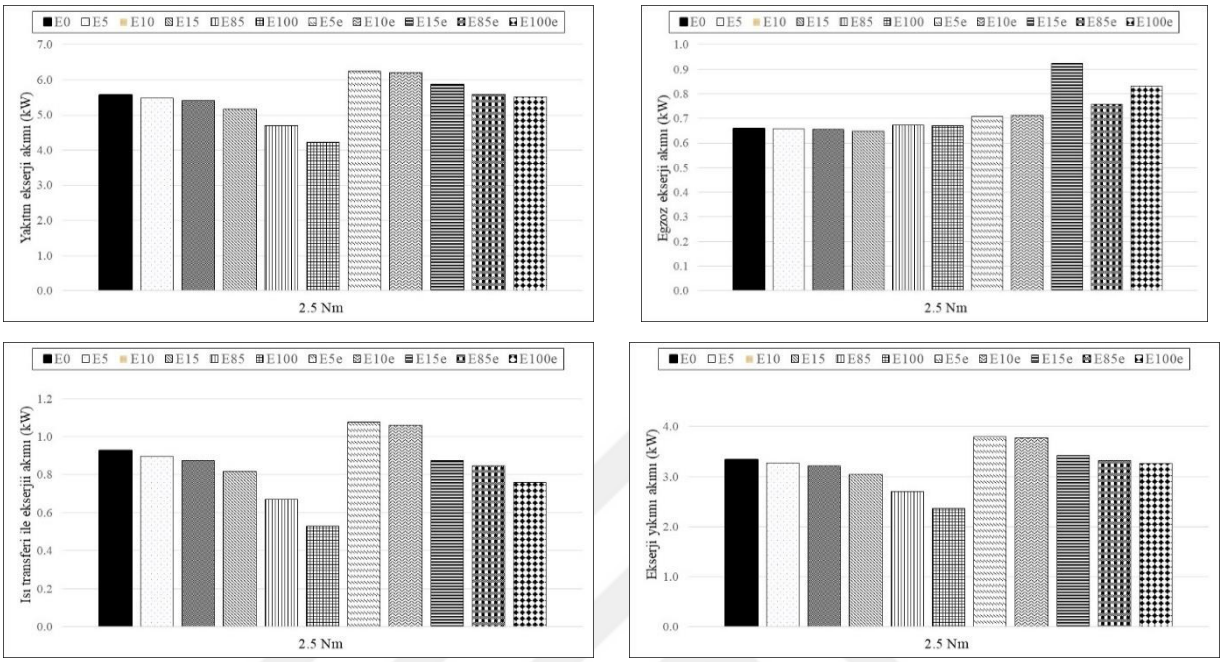
Egzoz ekserji akımı, egzoz enerji akımından farklı olarak, sürece egzoz gazı içerisindeki bileşenlerin entropi değişimlerinin etkilerinin dahil edildiği fiziksel ekserji terimini ve referans çevrenin etkisinin dahil edildiği kimyasal ekserji terimini de ihtiva eder. Yükteki artışla beraber yükselen bu akımda en belirgin farklar genellikle 2.5 Nm ile 3 Nm arasında görülmüştür. Yakıta %5, %10 şeker pancarı biyoetanolü ilavesi egzoz ekserji akımının benzine nazaran bir miktar artmasına, biyoetanol ilave edilmeye devam edilmesi ise egzoz ekserji akımının azalmasına neden olmuştur. Fakat E5, E10, E15, E85, E100 için bu farklar %1.5, %0.7, %1.0, %1.6 ve %0.6 olup oldukça düşüktür. E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için ise egzoz ekserji akımındaki değişimler artan yönde %4.8, %4.4, %9.8, %7.5, %11.3 olup daha belirgindir.



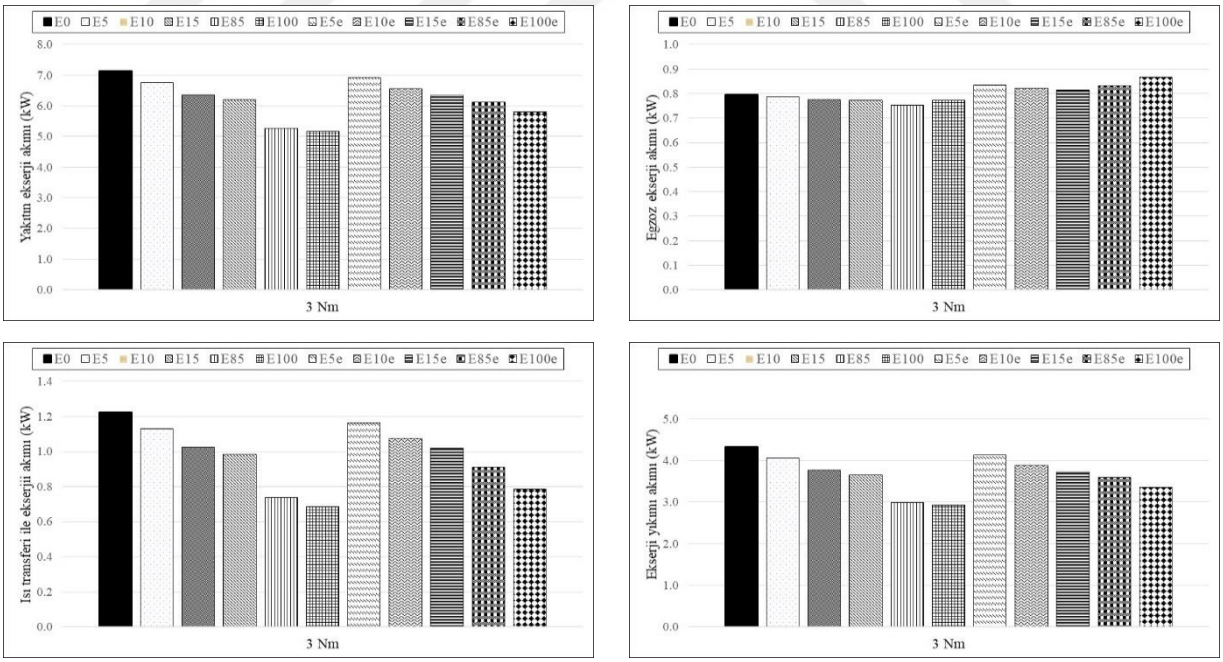
Şekil 4.48. 2 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı, ekserjiiyazmışım grafiğe

Isı transferi ile ekserji akımı, motordan egzoz dışında çeşitli yollarla kaybolan enerji miktarının kullanılabilir kısmını ifade eder. Bu kayıplar motor sıcaklığı ile

çevrenin, soğutma veya yağlama sisteminin sıcaklıkları arasındaki farklar nedeniyle meydana gelmektedir, dolayısıyla ısı transferi ile ekserji akımı enerji analizi parametresi olan kayıp enerji ile doğrudan ilişkilidir.



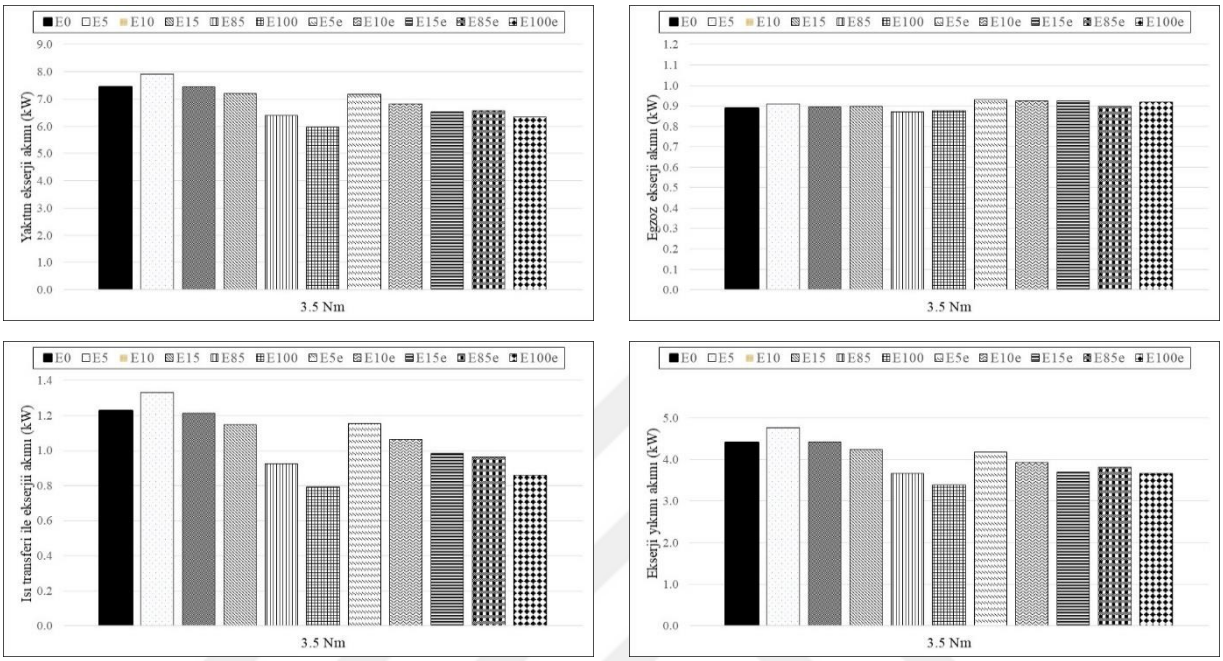
Şekil 4.49. 2.5 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı



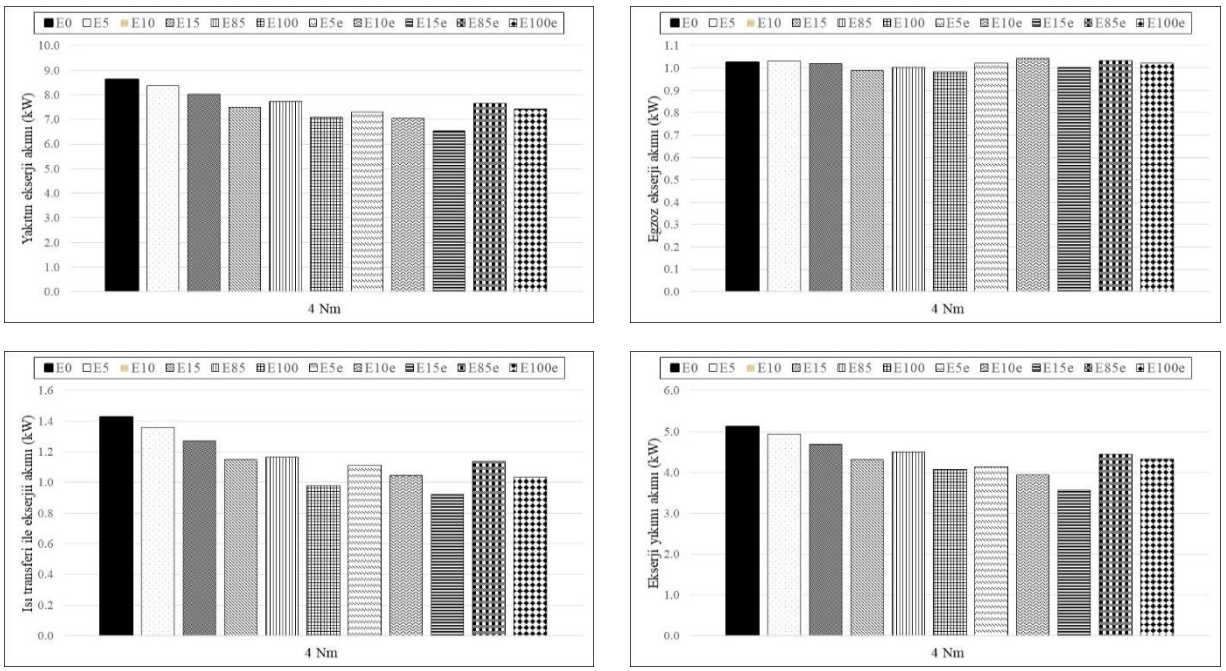
Şekil 4.50. 3 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı

Tüm test yakıtları için artan yüke bağlı olarak genellikle yükselen bu kayıp miktarı, benzine biyoetanol ilavesi ile azalma trendine girmektedir. Isı transferi ile ekserji

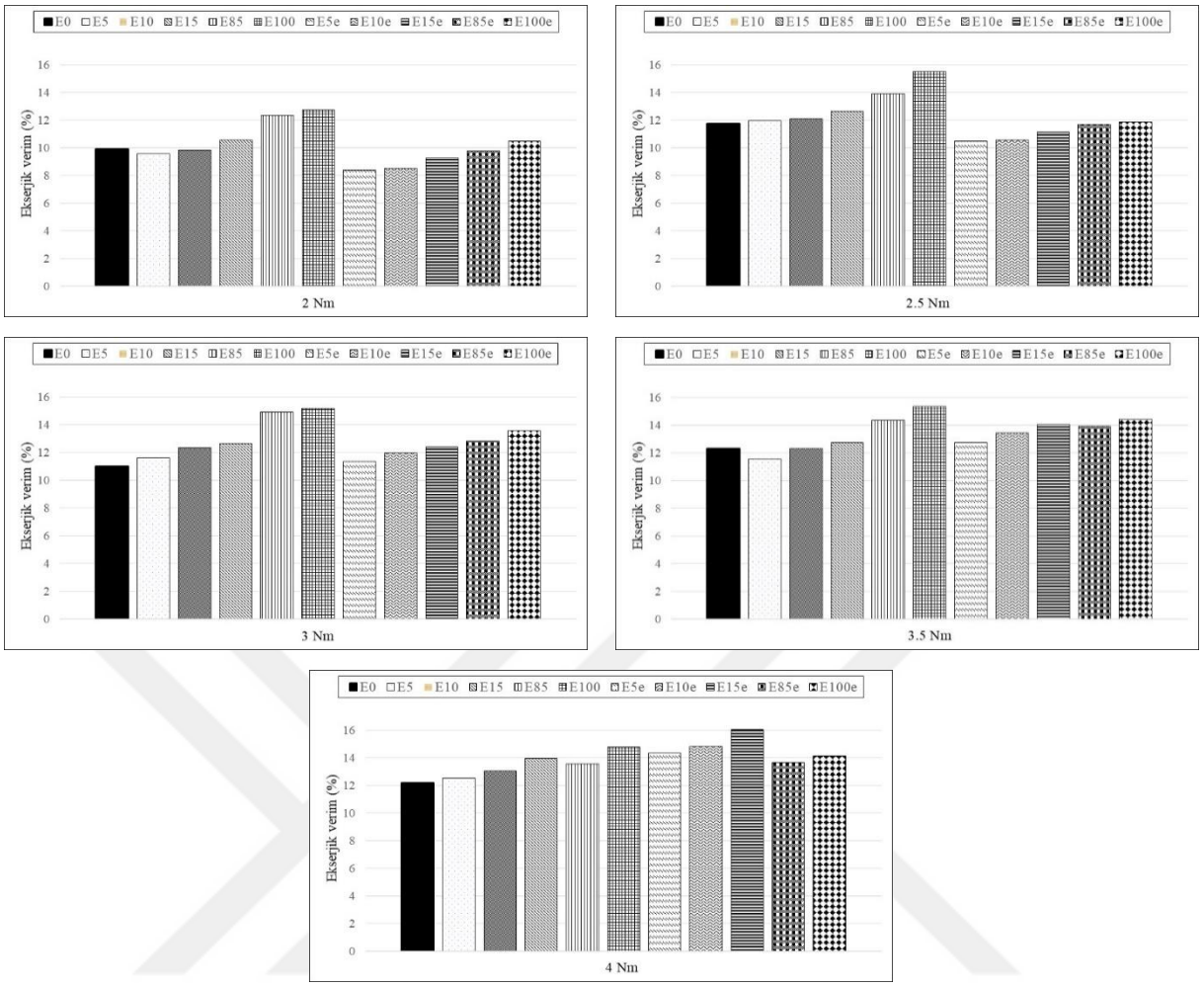
akımının yük ortalamaları, E0'a kıyasla E5, E10, E15, E85, E100 yakıtlarında %0.8, %7.2, %13.8, %27.6, %37.8 azalma olduğunu göstermektedir. E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için ise azalma oranları sırasıyla %1.0, %6.0, %16., %17.7, %27.4 şeklindedir.



Şekil 4.51. 3.5 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı



Şekil 4.52. 4 Nm'de test yakıtlarının ekserji akımlarının dağılımı



Şekil 4.53. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için ekserjik verimin değişimi

Son olarak yanma sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, moleküller arasındaki sıcaklık farkları, sürtünme ve akış gibi birçok tersinmez prosesin sonucunda oluşan ekserji yıkımı akımı, ekserjinin faydalı işe dönüştürülme potansiyeli taşımayan kısmını temsil eder. Ekserji yıkımı akımının, diğer ekserji akımlarına nazaran oldukça büyük olduğuna dikkat edilmelidir. Bu yıkım motordaki artan yükle beraber artmakta, biyoetanol ilavesi ile ekserji yıkımında azalmalar meydana gelmektedir. E0 ile kıyaslayacak olursak, E5, E10, E15, E85, E100 yakıtlarının ekserji yıkımı akımlarındaki azalma %0.3, %5.3, %10.7, %20.0 ve %25.9 iken, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e'ninki sırasıyla %1.4, %5.3, %12.7, %.9.9, %14.0'tür.

Analiz sonuçlarından görüldüğü üzere ekserji analizi, enerji analizinin hesaba katmadığı kayıp akımlarını da hesaplamalara dahil eder. Ayrıca enerji analizi sonucu daha küçük olduğu sanılan akımların gerçek büyüklüklerinin bulunmasına imkân sağlar. Dolayısıyla enerji analizinde güce dönüşen enerji miktarını temsil eden termal verimin daha azının kullanılabilir olduğunu ifade eder. Yük ortalamaları alındığında E0, E5, E10,

E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtlarının eksejik verimleri ile termal verimleri arasındaki farkın sırasıyla %6.9, %7.0, %7.1, %7.1, %9.6, %11.2, %7.0, %7.1, %7.1, %9.8, %11.7 olduğu görülmektedir. Yani enerji analizinde güce dönüştüğü varsayılan enerji miktarının gerçek boyutu ortalama %8.3 daha azdır. Termodinamik açıdan daha doğru bir değerlendirme sunan ekserjik verim hem motor torkundaki hem de biyoetanol içeriğindeki artıştan, olumlu yönde etkilenmektedir. Benzine %5, %10, %15, %85 ve %100 şeker pancarı biyoetanolünün ilavesiyle ekserji veriminde meydana gelen artışlar sırasıyla %0.2, %4.4, %9.6, %20.9, %28.8 iken, aynı oranlarda atık ekmek biyoetanolünün ilavesi ile meydana gelen artışlar %0.3, %3.8, %10.1, %8.4, %12.9'dur.

4.4.4.2. Ekonomik Analiz

Motor performans parametrelerinin değerlendirilmesi sadece çalışma koşulları ile ilgili kısıtlı bilgi sunarken, egzoz emisyonlarının ve yanma analizinin araştırmaya dahil edilmesi optimum şartların belirlenmesinde çevreye verilen zararın da göz önüne alınmasını sağlar. Benzer şekilde her ne kadar termodinamik analiz, ekserjik açıdan en iyi olan yakıt karışımını ve motor test koşullarını belirleyebilse de ekonomik olarak değerlendirme yapmayı sağlayan termoekonomik analizin de hesaba katılması verimliliğin ekonomi ile ilişkilendirilmesi, motordan ve yakıtın enerjisinden maksimum fayda sağlamak için gerekli ekonomik kısıtlamaların belirlenmesine olanak sağlar. Çünkü termodinamik olarak optimumu işaret eden bir durum, pratikte ekonomik olarak imkânsız olabilir. Bu maksatla önce saf benzin ve saf biyoetanollerin maliyetleri araştırılmış daha sonra hacimsel içerikleri baz alınarak yakıt karışımlarının maliyetleri belirlenmiştir.

Ekonomik analiz için ihtiyaç duyulan şeker pancarı biyoetanolüne ait satış maliyeti TürkŞeker Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi'nden edinilmiştir. Firma tarafından belirlenen (%18) KDV dahil satış maliyeti 6.44 TL/litre'dir. Biyoetanol dışarıdan temin edildiğinden, hesaplamalarda satış maliyeti kullanılsa da ilave olarak firmanın ürünü ne kadara mal ettiği de araştırılmıştır. Biyoetanolün fiyatı belirlenirken, biyoetanolden alınan ÖTV miktarının, benzinden alınan ÖTV miktarıyla aynı olduğu kabul edilmiştir. Bu miktar 14/5/2018 tarih ve 2018/11818 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı uyarınca güncellenen 3/10/2019 tarihli ÖTV miktarları cetveline göre 2.3765 TL'dir. 1 litre biyoetanolün ÖTV ve KDV eklenerek 6.44 TL'ye satıldığı varsayımı ile biyoetanolün üretim maliyeti yaklaşık olarak 3.08 TL/litre olarak hesaplanmıştır.

Atık ekmek biyoetanolü için üretim maliyeti, gider olarak sadece elektrik tüketimi göz önüne alınarak 8.52 TL/litre olarak bulunmuştur. Kullanılan bir diğer yakıt

olan kurşunsuz benzinin 27.09.2019 tarihli pompa satış fiyatı ise 7.01 TL/litre olarak belirlenmiştir. Benzinin litre fiyatının dolara endeksli olması ekonomik analizin dolar üzerinden gerçekleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle her iki biyoetanolün ve benzinin maliyetlerinin dolar karşılıkları ve yakıt karışımlarının hacimsel içerikleri temel alınarak hesaplanan karışım maliyetleri Çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Test yakıtlarının maliyetleri

Test yakıtları	**E0**	**E5**	**E10**	**E15**	**E85**	**E100**	**E5e**	**E10e**	**E15e**	**E85e**	**E100e**
Maliyet (USD/L)	1.21	1.20	1.20	1.19	1.13	1.11	1.22	1.23	1.25	1.43	1.47

Ekonomik analiz için gerekli diğer veriler Çizelge 4.12'de sunulmuştur. Bu veriler oluşturulurken motorun ömrünün 30 yıl olduğu ve motorun günde 6 saat çalıştırılabileceği kabul edilmiştir. İçten yanmalı motorlarda termoekonomik analizi içeren çalışmalar referans alınarak, (örneğin: (Meisami ve ark., 2018)) sistem hakkında kapsamlı bilgi bulunmadığı varsayımı ile, ϕ 'nin 1.06 olduğu kabul edilmiştir.

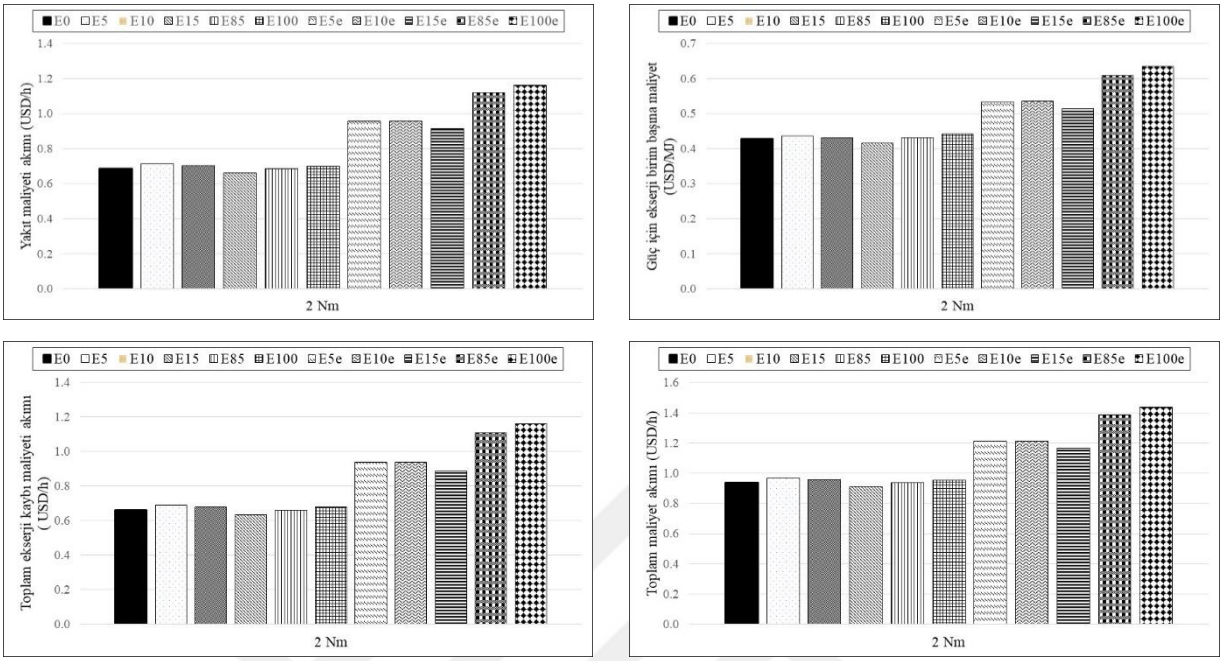
Çizelge 4.12. Termoekonomik analiz için gerekli diğer veriler

Motor maliyeti (USD)	5176
Yıllık çalışma saatleri, saat (H)	2190
Bakım faktorü, ϕ	1.06
Yıllık faiz oranı (%), i	0.1
Bileşik dönem, p	12
Motor ömrü (yıl), N	30

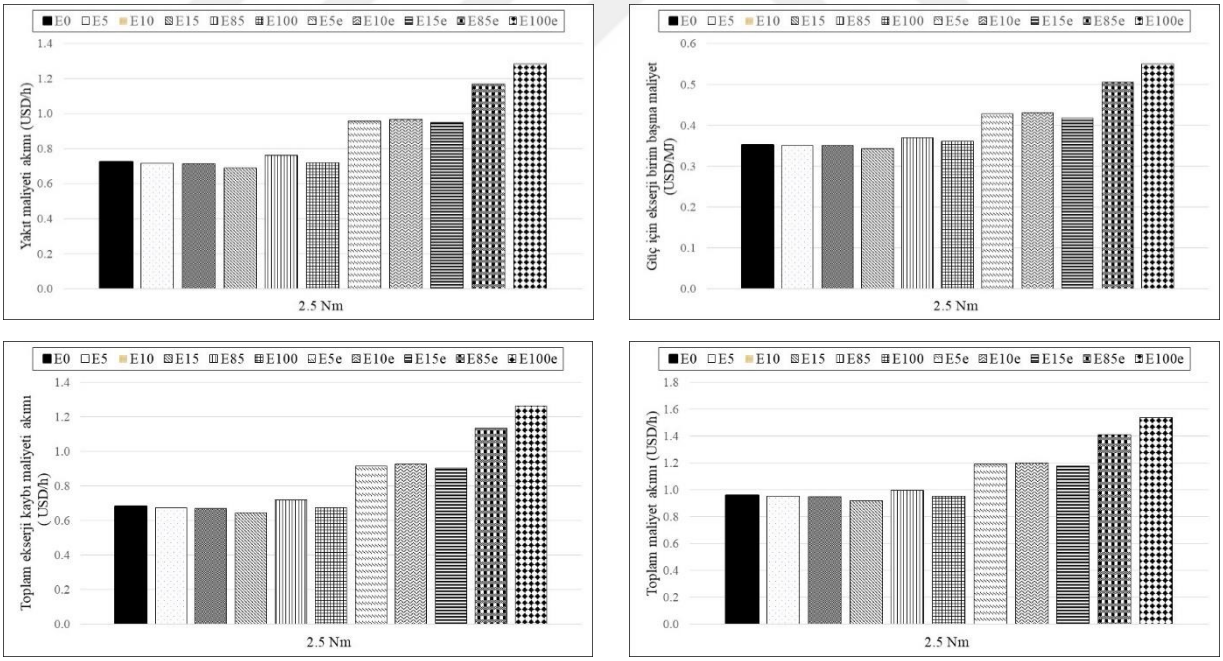
Şekil 4.54-Şekil 4.58'de farklı yüklerde test edilen yakıt karışımlarının ekonomik analiz sonuçları sunulmuştur. Analiz parametreleri yakıt maliyet akımı, güç için ekserji birim başına maliyet, toplam ekserji kaybı maliyet akımı ve toplam maliyet akımıdır. Yakıt maliyet akımı motorun her bir test yakıtı ile 1 saat çalıştırılmasının maliyetini temsil etmektedir.

Yakıt maliyet akımı, yük büyüdükçe artan yakıt tüketimi nedeniyle artmaktadır. Biyoetanol ilavesi ile belirgin farklar oluşmamıştır, fakat atık ekmek biyoetanolünün yüksek yakıt maliyeti, özellikle E85e ve E100e yakıtlarının yakıt maliyet akımının diğer yakıt karışımlarına nazaran daha yüksek olmasına neden olmuştur. E0, E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için yük ortalamalı yakıt maliyet akımları sırasıyla 0.9, 0.9, 0.9, 0.8, 0.9, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0, 1.3, 1.4 USD/h'dır. Yakıt maliyet

akımlarında motor yükünün etkisinin biyoetanol ilavesinin etkisine nazaran daha baskın olduğu görülmektedir.

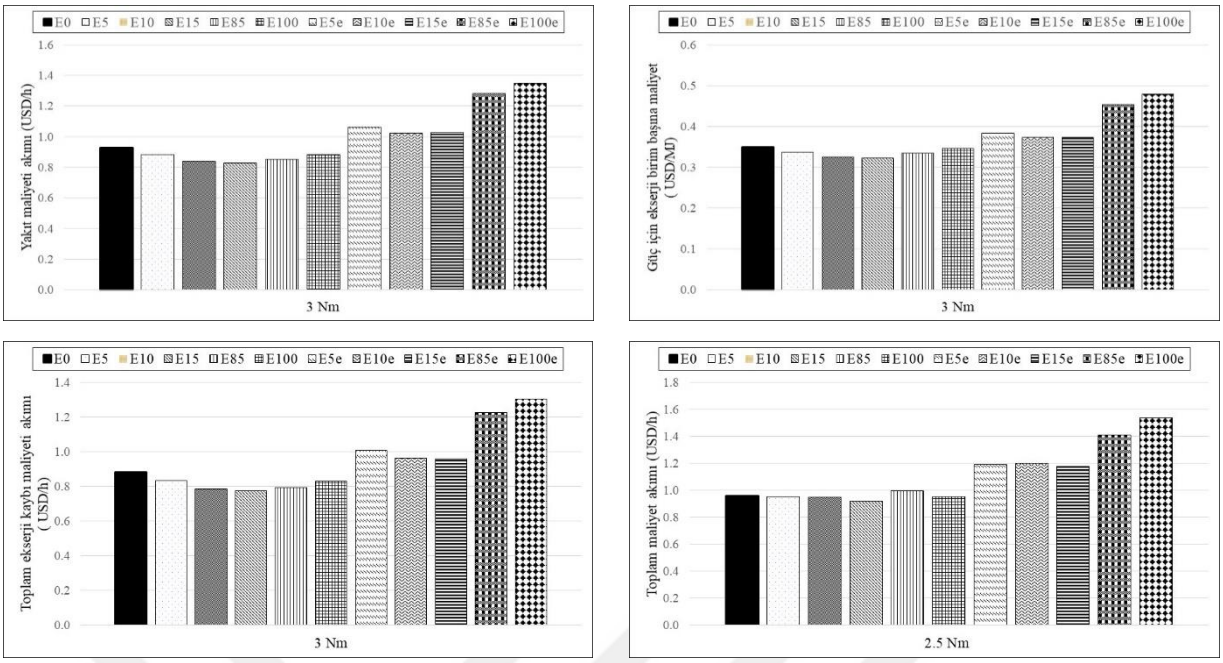


Şekil 4.54. 2 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı



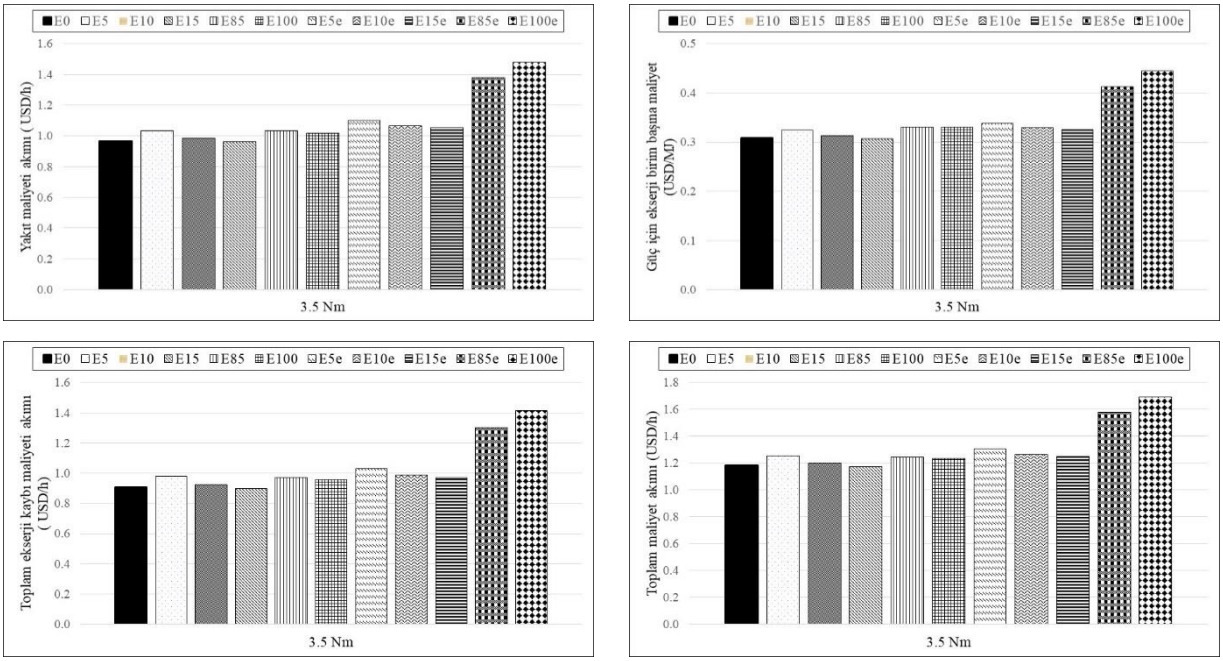
Şekil 4.55. 2.5 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı

Güç için ekserji birim başına maliyet, güç ekserjisine dönüşen her MJ enerjinin maliyetini simgelemektedir. En yüksek maliyet motorun 2Nm'de çalıştırılması durumunda elde edilmiştir.

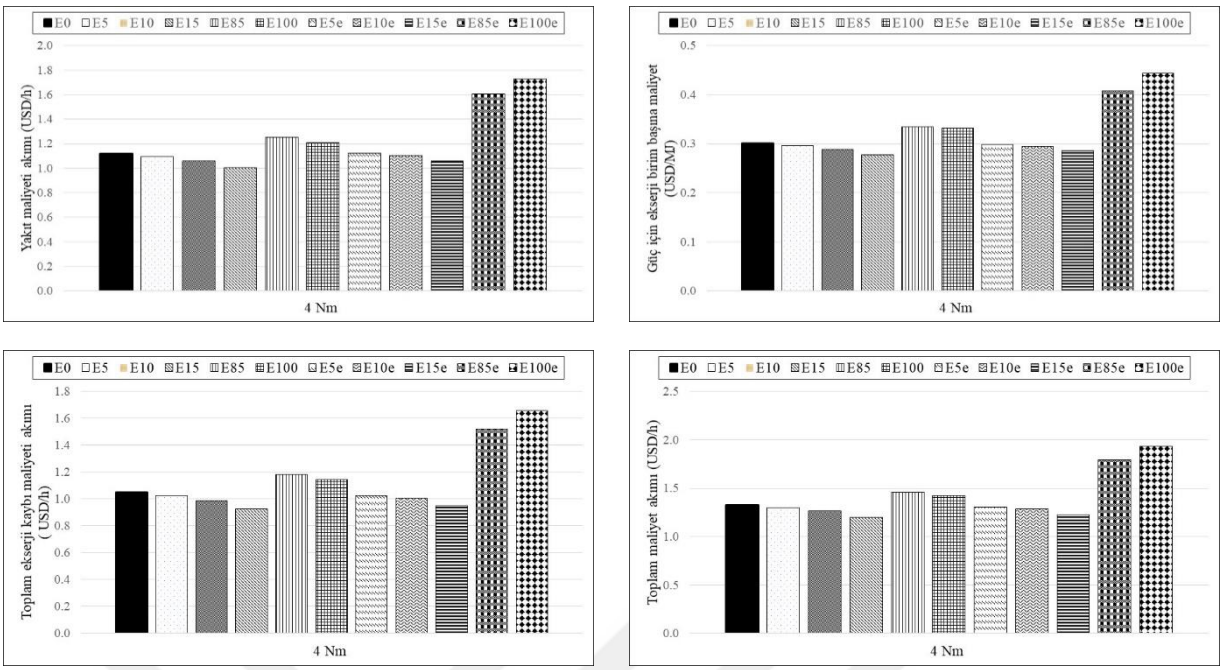


Şekil 4.56. 3 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı

Motor yükündeki her 0.5Nm'lik artış, güç için ekserji birim başına maliyetin daha fazla azalmasına neden olmuştur. Motor yükünün artırılması, motorun ekserjik verimliliğini artırarak, güç için birim ekserji başına maliyeti düşürür. 4Nm'deki ortalama maliyetin, 2Nm'dekinden yaklaşık olarak %0.3 olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.57. 3.5 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı

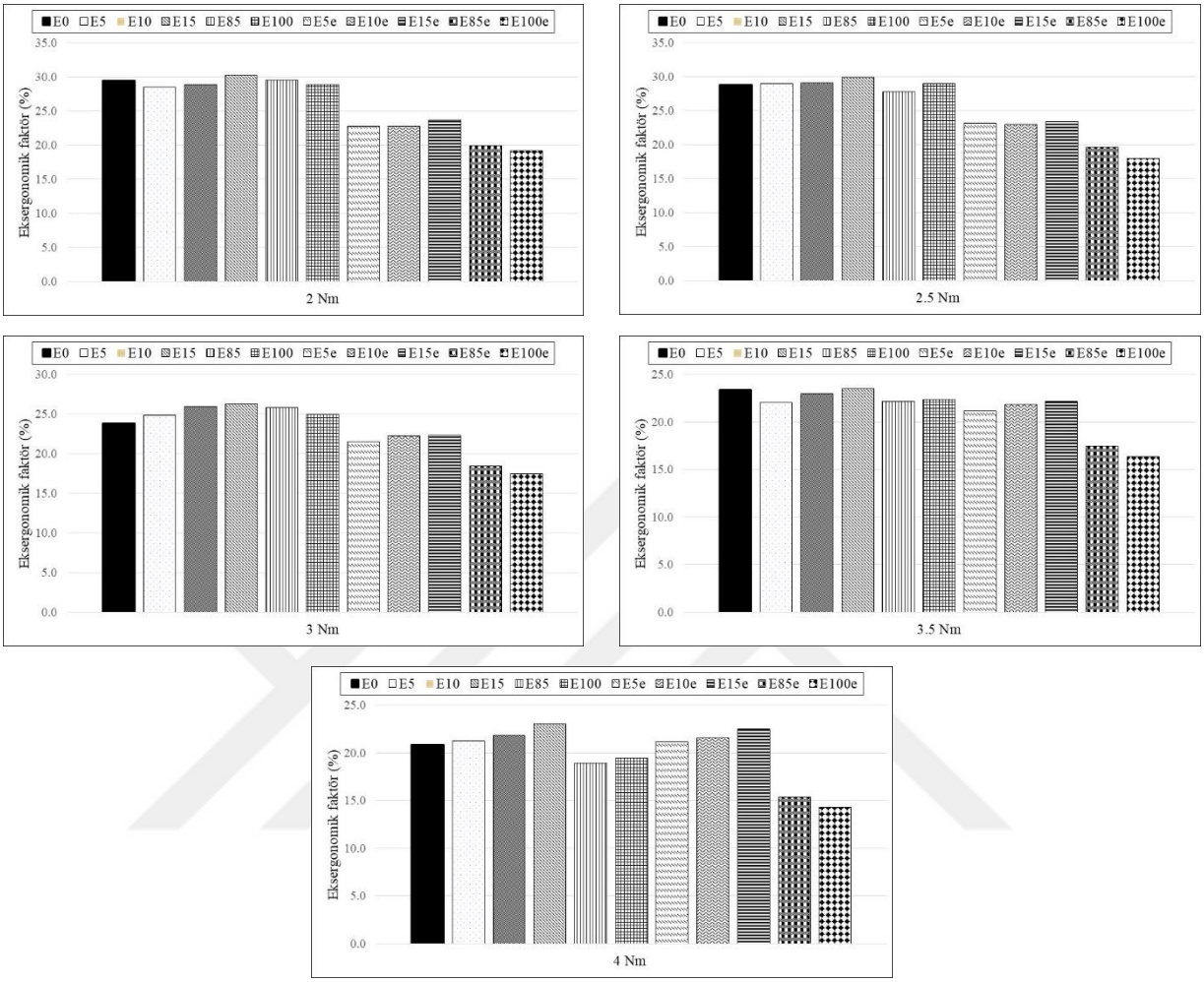


Şekil 4.58. 4 Nm'de test yakıtlarının termoekonomi akımlarının dağılımı

Güç için ekserji birim başına maliyet akımı en yüksek değerlerini, biyoetanollerin %100 oranında kullanıldığı E100 ve E100e yakıtları için almıştır. Yüksek yakıt maliyetinin güç ekserjisi başına birim maliyeti artırdığı açıktır. Düşük kalorifik değer, uzun tutuşma gecikmesi süresi ve atık ekmek biyoetanolünün az da olsa düşük egzoz sıcaklığı güç ekserjisi başına birim maliyeti artırmıştır.

Motorda efektif güce dönüştürülemeyen, ekserji yıkımı, ısı transferi ile ekserji kaybı veya egzoz ekserji kaybı biçiminde tüketilen ekserji miktarlarının toplam maliyeti tüm yakıt karışımları ve yük değerleri için hesaplanmıştır. Motor yükünü artıracak yöndeki her değişiklik, tüm yakıtlar için toplam ekserji kaybı maliyetinde artış ile sonuçlanmaktadır. Şeker pancarı biyoetanolü içeren yakıt karışımları için en düşük toplam ekserji kaybı maliyeti E15 yakıtı için elde edilmiştir. Benzer şekilde atık ekmek biyoetanolü ilavesi ile oluşturulan yakıtlar arasında en düşük toplam ekserji kaybı maliyetine sahip yakıt E15e olmuştur. E0, E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için toplam ekserji kaybı maliyeti ortalamaları 0.84, 0.84, 0.81, 0.78, 0.87, 0.86, 0.98, 0.96, 0.94, 1.24, 1.36 USD/h olarak bulunmuştur. Yatırım maliyetinin, toplam ekserji kaybı maliyetine eklenmesi ile hesap edilen toplam maliyet akımı, maksimum değerlerine motorun 4 Nm yükte, %100 biyoetanol ilaveli yakıtlarla çalıştırılması durumunda ulaşmıştır. Motor yükü ortalamalı toplam maliyet akımı

sıralaması ise şu şekildedir: E100e >E85e >E5e >E10e >E15e >E85 >E100 >E5 >E0 >E10 >E15.



Şekil 4.59. Farklı yüklerde tüm test yakıtları için eksergonomik faktörün değişimi

Ekonomik analiz parametrelerinden biri olan eksergoekonomik faktör, yatırım maliyet oranının, toplam maliyet üzerindeki etkisinin bir göstergesidir. Dolayısıyla eksergoekonomik faktörün yüksek olması, yatırım maliyetinin toplam maliyet üzerindeki etkisinin yüksek olduğu anlamını taşır. Motor yükünün, 2500 rpm sabit devir sayısında biyoetanol-benzin karışımları ile çalışan motorun eksergoekonomik faktörü üzerindeki etkisi Şekil 4.59'da sunulmuştur. Eksergoekonomik faktör en yüksek değerlerini düşük yüklerde almıştır. Yükteki her 0.5 Nm'lik artışın eksergoekonomik faktörü azaltan yönde etkiye sahip olduğu söylenemezken, tüm test yakıtları için en düşük eksergoekonomik faktörün elde edildiği yük değerinin 4Nm olduğu tespit edilmiştir. Daha düşük bir egzergoekonomik faktör, test yakıtlarının kayıpla ilgili maliyet oranının, bileşenle ilgili olan maliyetinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yakıt karışımları arasında

hacimce benzer içeriğe sahip olanlar birbirleri ile karşılaştırıldığında tüm yük değerleri için atık ekmek içerikli olanların düşük eksergoekonomik faktöre sahip olduğu görülmektedir. Yük ortalamaları değerlendirildiğinde, E0, E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için eksergoekeonomik faktörün %25.2, %25.1, %25.8, %26.6, %24.9, %22.0, %22.3, %22.8, %18.2, %17.0 olduğu görülür.

4.4.5. Belirsizlik Analizi

Deneysel verilerin ne derece doğru ve tekrarlanabilir olduğunu belirlemek için uygulanan belirsizlik analizi, hata oranları ($w_1,w_2,w_3,w_4…..,w_n$) olan n adet bağımsız değişkenin ($x_1,x_2,x_3,x_4…..,x_n$) bir fonksiyonu olan $R=R(x_1,x_2,x_3,x_4 …..,x_n)$'nin hata oranı w_R, Kline ve McClintock tarafından ortaya atılan yönteme göre aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır (Genceli, 2011).

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + ... + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \tag{4.4}$$

Bu bağıntıdan hareketle güç, termal verim ve ekserjik verim için oluşturulan bağıntılar sırasıyla Denklem 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

$$w_P = \left[\left(\frac{\partial P}{\partial n} w_n \right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \tau} w_\tau \right)^2 \right]^{1/2} \tag{4.5}$$

$$w_{n_t} = \left[\left(\frac{\partial n_t}{\partial P} w_P \right)^2 + \left(\frac{\partial n_t}{\partial \dot{m}_y} w_{\dot{m}_y} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_t}{\partial H_u} w_{H_u} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{4.6}$$

$$w_{n_{II}} = \left[\left(\frac{\partial n_{II}}{\partial n_t} w_{n_t} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_{II}}{\partial \varphi} w_\varphi \right)^2 \right]^{1/2} \tag{4.7}$$

Çizelge 4.13. Ölçü aletlerinin hassasiyetleri ve E0 yakıtı için ortalama belirsizlikler

Ölçümler	**Hassasiyet**
Motor devri	±1 rpm
Fren Torku	±0.01 Nm
Yakıt tüketimi	±0.000001kg/s
Motor yüzey sıcaklığı	±0.1 °C
Alt ısıl değer	1 kJ/kg
Ekserji faktörü	0.0001
Hesaplanan sonuçlar	**Belirsizlik**
Güç (kW)	±%0.36
Termal verim (%)	±%0.78
Ekserjik verim (%)	±%0.78

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

5.1.1.Yanma Analizi Parametrelerinin Sonuçları

Yanma analizi kapsamında değerlendirilen temel parametreler silindir basıncı ve ısı salım hızıdır. Tüm test yakıtları için motor yükündeki artışın, maksimum silindir basıncının artırdığı, maksimum basıncın elde edildiği krank açısını ise ÜÖN'ya yaklaştırdığı tespit edilmiştir. Tüm motor yükleri için atık ekmek biyoetanollü karışımlar için elde edilen maksimum basınç değerlerinin, hacimsel olarak benzer içerikte şeker pancar biyoetanolü içerenlere nazaran daha düşük olduğu, bu karışımlar için maksimum basınca karşılık gelen krank açısının ise ÜÖN'dan daha uzak olduğu saptanmıştır. Yük ortalamalı sonuçlara göre benzine en yakın maksimum silindir basıncı verileri E5 (ilk biyoetanol benzin karışım grubu için) ve E5e (ikinci biyoetanol benzin karışım grubu için) için elde edilmiştir.

Isı salım hızı motor yükünün artışından genellikle artan yönde etkilenmektedir. Isı salım hızı biyoetanol ilavesi ile genellikle artmış, en yüksek iki değerini E85 ve E100 yakıtları için almıştır. Atık ekmek biyoetanolü için de benzer eğilim söz konusu olup en yüksek ısı salım hızları E85e, E100e yakıtları için elde edilmiştir. Motor torku arttıkça maksimum ısı salım hızları ÜÖN'ya daha yakın krank açılarında elde edilmiş, atık ekmek biyoetanollü olanlarınki daha uzak olmak üzere her iki biyoetanolün ilavesi de maksimum ısı salım hızının elde edildiği krank açısının ÜÖN'dan uzaklaşması ile sonuçlanmıştır. Motor torkundaki artış, yanmanın daha erken başlamasına dolayısıyla tutuşma gecikmesi süresinin azalmasına neden olmuştur. Motor torkundaki artış ayrıca CA10, CA50, CA90 ve yanma sonuna tekabül eden krank açılarının küçülmesi ve yanma süresinin kısalması ile sonuçlanmıştır. Biyoetanol ilavesi, yanma başlangıcını üst ölü noktaya yaklaştırmış, CA10, CA50, CA90 ve yanma sonu krank açısınının değerini yükseltmiştir, en yüksek krank açıları her daim atık ekmek biyoetanolü ile elde edilmiştir. Tutuşma gecikmesi süresinin uzaması, buna karşın yanma süresinin kısalması biyoetanol ilavesi ile ortaya çıkan sonuçlardandır. Atık ekmek biyoetanolünün ilavesinin hem tutuşma gecikmesi süresinin hem de yanma süresinin kısalmasında muadili olan biyoetanole nazaran daha etkili olduğu saptanmıştır.

5.1.2. Motor Performansı Parametrelerinin Sonuçları

Biyoetanol benzin karışımlarının ve motor yükündeki değişimlerin motor performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması volumetrik verim, fren özgül yakıt

tüketimi ve termal verim baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Motor yükündeki her artış tüm test yakıtları için volümetrik verimi artıran yönde bir etkiye neden olmuştur. Yük ortalamalı volümetrik verim eğrisinin eğiminin 0-%10 şeker pancarı biyoetanolü ilavesi arasında artan, %10 ile %85 arasında azalan ve %85'den sonra tekrar azalan bir eğime sahip olduğu tespit edilmiştir. Atık ekmek biyoetanolünün ilavesi ise diğer etanolden farklı olarak 0-%10 arasında değil 0-%15 arasında artan eğim saptanmıştır. Motor torkundaki artışla beraber genellikle azalma eğiliminde olan fren özgül yakıt tüketimi, her iki biyoetanolün de benzinle oluşturduğu karışımlar için minimum değerini biyoetanol oranı %15 (E0 için 791 g/kWh iken, E15 için 785 g/kWh, E15e için 1047 g/kWh) iken alır. Atık ekmek biyoetanolü kullanılması durumunda özgül yakıt tüketimi düşük alt ısıl değer ve yüksek yoğunluğun ekişi ile diğer tüm yakıt karışımlarından yüksektir.

Son olarak termal verimin değişimi, enerji analizi sonuçlarında da sunulacağı için motor yükünden genellikle artan yönde etkilendiği ve yakıt içindeki biyoetanol oranı arttıkça termal verimin maksimuma yaklaştığı söylenebilir. Atık ekmek biyoetanolünün etkisi daha az olmakla beraber benzine biyoetanol ilave edilmesi motor performansında iyileşmelerle sonuçlanmıştır.

5.1.3. Egzoz Emisyonlarının Sonuçları

Motorun farklı yükler altında test yakıtları ile çalıştırılması durumunda egzoz gazları içindeki O_2 miktarının değişimi incelendiğinde, tüm test yakıtları için en yüksek değerini 2Nm aldığı, yükteki artışa bağlı olarak O_2 miktarının azaldığı görülmüştür. Yüksek oksijen içeriğine sahip olmaları nedeniyle, her iki biyoetanolün de benzine ilave edilmesinin yüksek O_2 salınımı yaptığı ortaya çıkmıştır. Motorun çalıştırıldığı motor yükünün artırılması CO emisyonlarının genelinde, NOx emsiyonlarının ise tamamında artış ile sonuçlanmıştır. Motor yükündeki her 0.5 Nm'lik yük artışının HC emisyonlarını biraz daha azalttığı, CO_2 emisyonlarının ise yük artışı ile 2.5 Nm'ye kadar artan yönde, 2.5 Nm'den sonra azalan yönde bir trende girdiği görülmüştür. Motor testleri, benzine etanol ilavesinin CO ve HC emisyonlarını azalttığını göstermektedir. Buna karşın CO ve NOx emisyonları yakıt karışımları içindeki biyoetanol konsantrasyonu arttıkça artmıştır. Atık ekmek biyoetanolü içeren yakıt karışımlarının CO ve HC emisyonları salımı aracılığıyla çevreye verdiği zarar şeker pancarı biyetanolü içeren yakıt karışımlarına nazaran daha az olmakla birlikte atık ekmek biyoetanollü yakıtların daha fazla CO_2 ve NOx emisyonuna neden olduğu saptanmıştır.

5.1.4. Termodinamik Analiz Sonuçları

5.1.4.1.Enerji Analizi Sonuçları

Test yakıtları arasında en yüksek alt ısıl değere sahip yakıt benzindir. Bu durum yakıtın enerji akımının en yüksek değerini benzin için alacağı yanılgısına neden olur. Biyoetanol ilavesi ile her ne kadar karışımların alt ısıl değerlerinde azalma olsa da biyoetanol ilavesi ile artan yakıt tüketimi yakıtın enerji akımındaki yönelimi artana dönüştürür. Enerji analizine göre kayıp enerji akımı, kontrol hacminden dışarı yönlü akımlar arasında ilk sıradadır. Yani yakıtın enerji analizinin büyük bir kısmı ısı transferi yolu ile kaybedilir. Deney sonuçları bu kayıp miktarının tüm test yakıtları için motor yükündeki artışa bağlı olarak genellikle arttığını göstermektedir. Yük ortalamaları değerlendirildiğinde, benzin için maksimum değerini alan kayıp enerji akımının genellikle biyoetanol cinsinden çok fazla etkilenmediği görülmüştür. Öyle ki, hacimsel olarak aynı biyoetanol oranına sahip yakıt karışımları için kayıp enerji akımının özellikle düşük etanol içerikli olanların birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Kontrol hacminden dışarı yönlü akımlar arasında ikinci sırada olan egzoz enerji akımı, motor yükü ile beraber artan egzoz sıcaklıklarının etkisi ile yükselmeye meyletmektedir. Beş farklı yük koşulunun ortalaması alındığında, egzoz enerji akımının tüm test yakıtları için birbirine oldukça yakın olduğu, sonuçların 1.0 ile 1.3 kW arasında değiştiği gözlenmiştir. En yüksek egzoz enerji akımları, E0'ın aldığı değerin %12.8' si kadar büyük olan E100 ve %25.7'si kadar büyük olan E100e yakıtı için elde edilmiştir. Kontrol hacminden dışarı yönlü akımlar arasında üçüncü ve son sırada olan fren gücü, test yakıtlarındaki varyasyondan etkilenmez, 2500 rpm sabit devir sayısında motorun yüklendiği oranda artar. Bu nedenle test yakıtlarının etkisini görebilmek için enerji analizi parametrelerinden biri olan termal verimi irdelemek gerekir. Tüm test yakıtları için en düşük değerlerini 2Nm'de alan termal verim, yakıt enerjisinin motor gücüne dönüşümünün 2 Nm'de sınırlı olduğuna işaret eder. Motor yükündeki artıştan genellikle pozitif yönde etkilenen termal verim, biyoetanol ilavesinden de benzer şekilde etkilenir. Yük ortalamalı termal verim değerlerine göre, şeker pancarı biyoetanolü içeriğinin artışı termal verimi artıran yönde etkiye neden olmuştur. Atık ekmek biyoetanolü içeren yakıt karışımları, benzine nazaran daha yüksek termal verime sahip olsalar da artış konusunda şeker pancarı biyoetanolünün yaptığı etkiyi yapamaz. Sonuç olarak motor yükü ortalamaları göz önüne alındığında, motorun biyoetanol ilaveli yakıtlarla çalıştırılması durumunda daha yüksek bir termal verimlilik söz konusu olmaktadır. %16.4'lük termal verim ile E100 ve %14.4'lük termal verimle E100e test yakıtları diğer yakıt karışımlarına

nazaran daha yüksek verimlilik sunar. Bu durum her iki biyotanol için de stokiyometrik H/Y oranının benzine nazaran düşük olması ile ilişkilidir.

5.1.4.2. Ekserji Analizi Sonuçları

Yakıtın enerji akımının ve ekserji faktörünün fonksiyonu olan yakıt ekserji akımı, motor torkunun yükselmesinden olumlu yönde etkilenir. En yüksek değerini motorun benzin yakıtı ile çalıştırılması durumunda alan yük ortalamalı yakıt ekserji akımı biyoetanol ilavesi ile kademeli şekilde azalmaktadır. Şeker pancarı biyoetanolü ilaveli yakıtlardaki azalma oranları, atık ekmek biyoetanollü muadillerine göre daha fazladır. Ekserji yıkımı akımı, ekserji analizinde temel alınan ve kontrol hacminden dışarı yönlü olduğu varsayılan akımlar arasında en büyük orana sahip akımdır. Motorda meydana gelen yanma reaksiyonu, moleküller arasındaki sıcaklık farkları, sürtünme, karışım olayları, türbülanslı akış vb. tersinmezliklerin bir sonucu olan ekserji yıkımı akımı, yakıt ekserji akımının faydalı iş potansiyeli taşımayan kısmını ifade eder. Yani enerji analizinde kayıp enerji olarak verilen enerji miktarından çok daha fazlası geri döndürülemez biçimde yok olur. Test sonuçları motor yükündeki artışın genelde ekserji yıkımı akımında artışa neden olduğunu ve en yüksek ekserji yıkımı akımına sahip yakıtın benzin olduğunu göstermiştir. Şeker pancarı biyoetanolü ilavesinin benzine nazaran %0.3 (E5) ile %25.9 (E100) arasında, atık ekmek biyoetanolü ilavesinin ise %1.4 (E5e) ile %14.0 (E100e) arasında azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Bir diğer ekserji analizi parametresi olan ısı transferi ile kaybolan ekserji akımı, enerji analizinde hesaplanan kayıp enerji akımının tamamının ısı transferi yoluyla kaybolduğu varsayımı ile hesaplanır. Yani ortalama olarak 2.8 ile 4.6 kW arasında değişen kayıp enerji akımının %25.1'inin gerekli şartlar sağlandığı takdirde faydalı işe dönüştürülebilir. Isı transferi ile ekserji akımının, motor yükünün artmasıyla beraber yükselen motor yüzey sıcaklıklarının etkisi altında olduğu, neredeyse tüm test yakıtları için en yüksek değerlerini 4Nm'de aldığı tespit edilmiştir. Her iki biyoetanolün de benzine ilavesinin, ısı transferi yoluyla ekserji akımı üzerinde birbirine oldukça yakın, azaltan etkiye sahip olduğu görülmüştür. Egzoz enerji akımına benzer şekilde egzoz gaz sıcaklıklarının baskısı altında olan egzoz ekserji akımı da motor yükündeki artışa bağlı olarak yükselen bir trende sahiptir. Şeker pancarı biyoetanolünün karışıma farklı oranlarda eklenmesi ile elde edilen egzoz ekserji akımları, temel yakıt olan benzine oldukça yakın değerler almıştır. Atık ekmek biyoetanolünün ilavesinden daha fazla etkilenen bu ekserji akımı en yüksek değerini E100e yakıtı ile alır. Yük ortalamalı olarak 0.78 ile 0.88 kW arasında değer alan bu akım,

enerji analizinde 1.03 ile 1.29 kW arasında değer alan egzoz enerji akımının yaklaşık olarak %73.4'ünün iş potansiyeli taşıdığını gösterir. Enerji analizininde hesap edilen fren gücünün tamamı faydalı işe dönüştürüldüğünden ekserji analizi parametrelerinden biri olan ekserjik güç akımı, fren gücü ile aynı değerlei almaktadır. Yakıt ekserjisinin ne kadarının güce dönüştüğü incelendiğinde, tahmin edileceği üzere bu oran, yakıt enerjisindeki dönüşüm oranından daha küçüktür. Yani E0, E5, E10, E15, E85, E100, E5e, E10e, E15e, E85e, E100e yakıtları için ortalama ekserjik verim, termal verimden %6.5, %6.5, %6.6, %6.7, %8.8, %10.1, %6.5, %6.6, %6.7, %8.9, %10.5 daha küçüktür. Motor yükünün seviyesindeki her artış, tüm test yakıtları için genellikle ekserjik verimi biraz daha artırmıştır. Şeker pancarı biyoetanolünün sürece dahil edilmesi ekserjik verim üzerinde olumlu tepkiler alınmasına neden olmaktadır. Yakıt karışımları içindeki şeker pancarı biyoetanolünün artışı ekserjik verimi bir adım daha yükseğe taşımakta, E100 yakıtı için maksimum değerine ulaşmaktadır. Atık ekmek biyoetanolü için de benzer etkiler söz konusu olup, benzer hacimsel içeriğine sahip yakıt karışımları arasında atık ekmek biyoetanolü içerenlerin şeker pancarı biyoetanolü içerenlere nazaran daha düşük ekserjik verime sahip olduğu söylenebilir. Kısaca, termodinamik analizden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, motorun en yüksek termal verim ve ekserjik verim koşulunun, motorun E100 ve E100e ile yakıtlandırılması durumunda elde edildiği ortaya çıkmıştır.

5.1.5. Termoekonomik Analiz Sonuçları

Ekonomik analiz parametrelerinden biri olan yakıt maliyeti tüm test yakıtları için motor yükündeki artışa bağlı olarak artan yakıt tüketimin etkisiyle yükselme trendine girer. Biyoetanolün benzine yüksek oranlarda ilavesi, benzinle karışım yakıtları arasında oluşan yakıt tüketimi farkını ve yakıtın litre fiyatı farkını açtığından yakıt maliyet oranı artar. Fakat daha düşük oranlarda etanol içeren yakıtlar için durum farklıdır. %15 etanol ilavesine kadar şeker pancarı biyoetanolünün maliyeti azaltan etkisi daha baskın olup en düşük yakıt maliyet akımı E15 yakıtı için (0.83 UDS/h) elde edilir. Atık ekmek biyoetanolü için de durum benzerdir. Her ne kadar atık ekmek biyoetanolü içeren yakıtların ilavesi yakıt maliyet akımını E0'ınkinin (0.89 USD/h) üzerine çıkarsa da, kendi aralarında değerlendirildiklerinden en düşük yakıt maliyet akımı yine E15e için (1.00 USD/h) elde edilir. Birim güç ekserjisi elde etmek için gereken maliyet akımı, tüm test yakıtları için en yüksek değerlerini 2 Nm'de en düşük değerlerini 4Nm'de almaktadır. Motorun tam yük şartları altında çalıştırılması, güç ekserjisi başına maliyet akımı

üzerinde olumlu etkiye sahiptir. Şeker pancarı biyoetanolün %15'e kadar ilavesi bu akımın azalmasına, %15'den daha yüksek oranda ilavesi ise artmasına neden olmaktadır. Atık ekmek biyoetanollü yakıt karışımları hem benzine hem de şeker pancarı biyoetanolü içeren diğer yakıt karışımlarına nazaran daha yüksek güç ekserjisi birim başına maliyet akımına sahiptir. Fakat kendi aralarında değerlendirildiklerinde aynı güç ekserjisini elde etmek gerekli maliyet akımı E15e'de minimum değerini alır. Kontrol sisteminden dışarı yönlü olan tüm ekserji akımlarının maliyet açısından büyüklüğünü sunan, toplam ekserji kaybı maliyet oranı, artan yükle birlikte artan egzoz ekserji akımı, ısı transferi ile ekserji kaybı akımı ve ekserji yıkımı akımı nedeniyle artmaktadır. Toplam ekserji kaybı maliyet akımı eğrisi, tüm benzin biyoetanol karışımları için E15'e kadar azalan, E15'den sonra artan eğime sahiptir. Atık ekmek biyoetanolü içeren yakıt karşımları için toplam ekserji kaybı akımı her halukarda diğer yakıtlarınkinden yüksek olup, şeker pancarı biyoetananolü içeren yakıt karışımlarından yalnız E85 ve E100, E0'ınkinden yüksek değere sahiptir. Yatırım maliyet oranının sürece dahil edilmesi ile bulunan toplam maliyet akımı, motor üzerindeki yükün artırılmasından olumsuz etkilenir. Toplam maliyet akımını minimum yapan şeker pancarı biyoetanollü yakıt karışımı E15, atık ekmek biyoetanollü yakıt karışımı E15e olup, saf benzinle aralarındaki ilişki: E15e >E0 >E15 şeklindedir. Son olarak eksergoekonomik faktörün yükteki artışla azalan yönde etkilendiği, benzine %85 ve %100 etanol ilavesininin toplam maliyet akımının yatırım maliyetine bağımlılığını azalttığı ekonomik analiz sonuçlarından biridir. Sonuç olarak ekonomik analiz parametrelerinin değişimleri birlikte değerlendirildiğinde en ekonomik test yakıtının E15 olduğu söylenebilir. Şeker pancarı biyoetanolü değerlendirme dışı bırakıldığında, atık ekmek içeren yakıt karışımları arasında en ekonomik olanın E15e olduğu, fakat yine de E15e'nin E0'dan daha maliyetli olduğu not edilmelidir.

5.2. Öneriler

Fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ve enerji talebinin en azından taşımacılık sektörü ile ilgili olan kısmının karşılanabilmesi için alternatif yakıtların kullanımı önem arzetmektedir. Biyoetanolün buji ateşlemeli motorlarda gerek saf halde gerek benzine ilave edilerek kullanılması, motorlu taşıtların kullandığı enerjinin fosil kaynak tabanlı arzının düşmesine neden olacaktır. Çeşitli içeriklere sahip atık kütlelerin biyoetanol üretimi için kullanılması ile atıkların ve enerji içeriklerinin tekrar değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu durum atık yönetimi uygulamalarına alternatif oluşturmakla beraber, tarımsal hammaddeye dayalı biyoetanol üretiminin neden olduğu enerji ve gıda güvenliği

problemini ortadan kaldırabilir. İleride yapılacak çalışmalardan, atık biyokütleden biyoetanole dönüşüm sürecinin farklı parametre ve seviyeleri kullanılarak daha fazla detaylandırılması, biyoetanolün üretim veriminin geliştirilmesi ve yakıt maliyetini en azından benzinin satış fiyatı ile rekabet edebilecek duruma getirebilmesi gibi konulara odaklanması beklenmektedir. Üretimi gerçekleştirilecek biyoetanolün yakıt özelliklerinin tarımsal kaynaklı muadillerine yaklaşabilmesi için çözünürlük geliştiricilerin sürece dahil edilerek, yakıt içindeki suyu uzaklaştıracak uygulamalara yer verilmesi önerilmektedir. Suyu kafi derecede uzaklaştırılan atık ekmek biyoetanolünün oktan sayısının benzine nazaran yüksek olması, yüksek sıkıştırma oranlarında test edilebilmesinin yolunu açacaktır. Termoekonomik analiz gerek optimum test yakıtı kompozisyonlarının gerek motor çalışma şartlarının tespit edilmesinde termoekonomik analizi destekleyecek şekilde uygulamaya konulmalıdır.

KAYNAKLAR

Abdel-Rahman, A.Osman, M., 1997, Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol–gasoline fuel blends, *International Journal of Energy Research*, 21 (1), 31-40.

Ačanski, M., Pastor, K., Razmovski, R., Vučurović, V.Psodorov, Đ., 2014, Bioethanol production from waste bread samples made from mixtures of wheat and buckwheat flours, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 18 (1), 40-43.

Adessi, A., Venturi, M., Candeliere, F., Galli, V., Granchi, L.De Philippis, R., 2018, Bread wastes to energy: Sequential lactic and photo-fermentation for hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43 (20), 9569-9576.

Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Khalife, E., Roodbar Shojaei, T.Dadak, A., 2018, Exergoeconomic analysis of a DI diesel engine fueled with diesel/biodiesel (B5) emulsions containing aqueous nano cerium oxide, *Energy*, 149, 967-978.

Alexandre, H.Charpentier, C., 1998, Biochemical aspects of stuck and sluggish fermentation in grape must, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 20 (1), 20-27.

Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A.Israilides, C., 2010, Ethanol production from potato peel waste (PPW), *Waste Management*, 30 (10), 1898-1902.

Arshadi, M.Grundberg, H., 2011, 9 - Biochemical production of bioethanol, In: Handbook of Biofuels Production, Eds: Woodhead Publishing, p. 199-220.

Atek, 2019, ARC S 50 Datasheet, http://www.ateksensor.com/arc-s-50-saft-atek-made-in-turkey-urun-182.html, [23.01.2020].

Awad, O. I., Mamat, R., Noor, M. M., Ibrahim, T. K., Yusri, I. M.Yusop, A. F., 2018, The impacts of compression ratio on the performance and emissions of ice powered by oxygenated fuels: A review, *Journal of the Energy Institute*, 91 (1), 19-32.

Balki, M. K.Sayin, C., 2014, The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI (spark ignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline, *Energy*, 71, 194-201.

Balki, M. K., Sayin, C.Canakci, M., 2014, The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine, *Fuel*, 115, 901-906.

Bayrakçı, A. G., 2009, Değişik biyokütle kaynaklarından etanolün elde edilmesi üzerine bir araştırma, *Ege Üniversitesi* İzmir.

Bayraktar, H., 2005, Experimental and theoretical investigation of using gasoline–ethanol blends in spark-ignition engines, *Renewable Energy*, 30 (11), 1733-1747.

BBB, 2015, Bursa Entegre Katı Atık Yönetim Planı, https://www.bursa.bel.tr/dosyalar/birimek/190306101045_Bursa-Entegre-Atik-Yonetim-Plani.pdf, [24.01.2020].

Bervian, A., Coser, E., Pianaro, S. A., Aguzzoli, C., Pedott, A., Khan, S.Malfatti, C. d. F., 2018, Application of Taguchi Method to study morphological evolution of TiO_2 nanotubes obtained via anodization process, *Materials Research*, 21 (2).

Boluda-Aguilar, M.López-Gómez, A., 2013, Production of bioethanol by fermentation of lemon (Citrus limon L.) peel wastes pretreated with steam explosion, *Industrial Crops and Products*, 41, 188-197.

Caliskan, H.Hepbasli, A., 2011, Exergetic cost analysis and sustainability assessment of an internal combustion engine, *International Journal of Exergy*, 8 (3), 310-324.

Caliskan, H.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: Transport and Environment*, 56, 203-221.

Canakci, M., Ozsezen, A. N.Turkcan, A., 2009, Combustion analysis of preheated crude sunflower oil in an IDI diesel engine, *Biomass and Bioenergy*, 33 (5), 760-767.

Canakci, M., Ozsezen, A. N., Alptekin, E.Eyidogan, M., 2013, Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine, *Renewable Energy*, 52, 111-117.

Caton, J. A., 2010, Implications of fuel selection for an SI engine: Results from the first and second laws of thermodynamics, *Fuel*, 89 (11), 3157-3166.

Caton, J. A., 2012, Exergy destruction during the combustion process as functions of operating and design parameters for a spark-ignition engine, *International Journal of Energy Research*, 36 (3), 368-384.

Cekmecelioglu, D.Uncu, O. N., 2013, Kinetic modeling of enzymatic hydrolysis of pretreated kitchen wastes for enhancing bioethanol production, *Waste Management*, 33 (3), 735-739.

Celik, M. B., 2008, Experimental determination of suitable ethanol–gasoline blend rate at high compression ratio for gasoline engine, *Applied Thermal Engineering*, 28 (5), 396-404.

Choi, C.-H., 1986, Ethanol production from grain dusts, bread waste, and cake waste with and without brewers' condensed solubles (BCS).

Choi, I. S., Wi, S. G., Kim, S.-B.Bae, H.-J., 2012, Conversion of coffee residue waste into bioethanol with using popping pretreatment, *Bioresource Technology*, 125, 132-137.

Cooney, C. P., Worm, J. J.Naber, J. D., 2009, Combustion characterization in an internal combustion engine with ethanol− gasoline blended fuels varying compression ratios and ignition timing, *Energy & Fuels*, 23 (5), 2319-2324.

Costa, R. C.Sodré, J. R., 2011, Compression ratio effects on an ethanol/gasoline fuelled engine performance, *Applied Thermal Engineering*, 31 (2), 278-283.

Costagliola, M. A., De Simio, L., Iannaccone, S.Prati, M. V., 2013, Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled with alcohol/gasoline blends, *Applied Energy*, 111, 1162-1171.

Datta, P., Tiwari, S.Pandey, L. M., 2018, Bioethanol Production from Waste Breads Using Saccharomyces cerevisiae, In: Utilization and Management of Bioresources: Proceedings of 6th IconSWM 2016, Eds: Ghosh, S. K., *Singapore*: Springer Singapore, p. 125-134.

Demirbas, A., 2008, Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections, *Energy Conversion and Management*, 49 (8), 2106-2116.

Demirci, A. S., Palabıyık, I., Gümüs, T.Özalp, Ş., 2016, Waste Bread as a Biomass Source: Optimization of Enzymatic Hydrolysis and Relation between Rheological Behavior and Glucose Yield, *Waste and Biomass Valorization*, 1-8.

Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M.Gellynck, X., 2008, Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception, *Journal of Cereal Science*, 48 (2), 243-257.

Di Nicola, G., Santecchia, E., Polonara, F.Santori, G., 2011, Advances in the development of bioethanol: a review, INTECH Open Access Publisher.

Directive, R. E., 2009, Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable

sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, *Official Journal of the European Union*, 16-62.

Doğan, B., Erol, D., Yaman, H.Kodanli, E., 2017, The effect of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis, *Applied Thermal Engineering*, 120, 433-443.

Ebrahimi, F., Khanahmadi, M., Roodpeyma, S.Taherzadeh, M. J., 2008, Ethanol production from bread residues, *Biomass and Bioenergy*, 32 (4), 333-337.

EPA, 2014, Environmental Protection Agency, https://www.epa.gov/sustainable-management-food, [2.11.2018].

EPDK, 2012, Benzin türlerine etanol harmanlanması hakkında tebliğ http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/07/20120707-35.htm, [31.08.2018].

Eyidogan, M., Ozsezen, A. N., Canakci, M.Turkcan, A., 2010, Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine, *Fuel*, 89 (10), 2713-2720.

Eyidoğan, M., 2009, Etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının buji ateşlemeli bir motorun yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*.

FAO, 2013, Save food campaign Asia-Pacific kicked off, http://www.fao.org/news/story/en/item/195565/icode/, [23.01.2020].

FAO, 2014, Technical platform on the measurement and reduction of food loss and waste, http://www.fao.org/platform-food-loss-waste/food-waste/definition/en/. [31.08.2018].

Geçgel, K., 2018, Farklı oranlarda biyoetanol-benzin karışımlarının benzinli bir motorda kullanımının performans ve ekserji analizi *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.

Girotto, F., Alibardi, L.Cossu, R., 2015, Food waste generation and industrial uses: A review, *Waste Management*, 45, 32-41.

Gökçe, B.Taşgetiren, S., 2009, Kalite Đçin Deney Tasarımı, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 71-83.

GUNT, 2016a, Instruction Manual: HM 365 Universal Drive and Brake Unit.

GUNT, 2016b, Instruction Manual: CT 159 Modular Test Stand for Single Cylinder Engines, 2.2kW.

GUNT, 2016c, Experiment Instructions: CT 152 Four-Stroke Petrol Engine w. Variable Compression for CT 159.

Han, W., Hu, Y., Li, S., Nie, Q., Zhao, H.Tang, J., 2016a, Effect of organic loading rate on dark fermentative hydrogen production in the continuous stirred tank reactor and continuous mixed immobilized sludge reactor from waste pastry hydrolysate, *Waste Management*, 58, 335-340.

Han, W., Huang, J., Zhao, H.Li, Y., 2016b, Continuous biohydrogen production from waste bread by anaerobic sludge, *Bioresource Technology*, 212 (Supplement C), 1-5.

Han, W., Huang, J., Zhao, H.Li, Y., 2016c, Continuous biohydrogen production from waste bread by anaerobic sludge, *Bioresource Technology*, 212, 1-5.

Han, W., Hu, Y., Li, S., Huang, J., Nie, Q., Zhao, H.Tang, J., 2017a, Simultaneous dark fermentative hydrogen and ethanol production from waste bread in a mixed packed tank reactor, *Journal of Cleaner Production*, 141 (Supplement C), 608-611.

Han, W., Liu, W.-X., Yu, C.-M., Huang, J.-G., Tang, J.-H.Li, Y.-F., 2017b, BioH2 production from waste bread using a two-stage process of enzymatic hydrolysis

and dark fermentation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (50), 29929-29934.

Han, W., Xu, X., Gao, Y., He, H., Chen, L., Tian, X.Hou, P., 2019, Utilization of waste cake for fermentative ethanol production, *Science of The Total Environment*, 673, 378-383.

Haroon, S., Vinthan, A., Negron, L., Das, S.Berenjian, A., 2016, Biotechnological approaches for production of high value compounds from bread waste, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 12 (2), 102-109.

Hartmann, M.Jung, D., 2010, Biocatalysis with enzymes immobilized on mesoporous hosts: the status quo and future trends, *Journal of Materials Chemistry*, 20 (5), 844-857.

Heywood, J. B., 1988, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill.

Hsieh, W.-D., Chen, R.-H., Wu, T.-L.Lin, T.-H., 2002, Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels, *Atmospheric Environment*, 36 (3), 403-410.

Hudečková, H., Šupinová, P.Babák, L., 2017, Optimization of enzymatic hydrolysis of waste bread before fermentation, *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65 (1), 35-40.

IEA, 2017, Global Energy & CO_2 Status Report: The latest trends in energy and emissions in 2017, https://www.iea.org/geco/, [31.08.2018].

IRENA, 2018, Global energy transformation: A roadmap to 2050, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf, [31.08.2018].

Jena, J.Misra, R. D., 2014, Exergetic cost analysis of a CI engine fuelled with petrodiesel and palm and karanja biodiesels: a comparative assessment, *International Journal of Exergy*, 15 (2), 214-232.

Karak, T., Bhagat, R. M.Bhattacharyya, P., 2012, Municipal Solid Waste Generation, Composition, and Management: The World Scenario, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42 (15), 1509-1630.

Kawa-Rygielska, J.Pietrzak, W., 2011, Utilization of waste bread for bioethanol production, *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc (Poland)*.

Kawa-Rygielska, J., Pietrzak, W.Czubaszek, A., 2012, Characterization of fermentation of waste wheat-rye bread mashes with the addition of complex enzymatic preparations, *Biomass and Bioenergy*, 44 (Supplement C), 17-22.

Kawa-Rygielska, J., Czubaszek, A.Pietrzak, W., 2013, Some aspects of baking industry wastes utilization in bioethanol production, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 575.

KBB, 2018, Konya İli 2017 yılı çevre durum raporu https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/son-konya-il--2017-yili-cevre-durum-raporu-20180807103212.pdf, [31.08.2018].

Kent, N. L.Evers, A. D., 1994, 8 - Bread-baking Technology, In: Kent's Technology of Cereals (Fourth Edition), Eds: Kent, N. L.Evers, A. D.: Woodhead Publishing, p. 191-217.

Keskin, A.Gürü, M., 2011, The Effects of Ethanol and Propanol Additions Into Unleaded Gasoline on Exhaust and Noise Emissions of a Spark Ignition Engine, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33 (23), 2194-2205.

Kiani Deh Kiani, M., Rostami, S., Eslami, M., Yusaf, T.Sendilvelan, S., 2018, The effect of inlet temperature and spark timing on thermo-mechanical, chemical and the

total exergy of an SI engine using bioethanol-gasoline blends, *Energy Conversion and Management*, 165, 344-353.

Kim, N., Cho, S.Min, K., 2015, A study on the combustion and emission characteristics of an SI engine under full load conditions with ethanol port injection and gasoline direct injection, *Fuel*, 158, 725-732.

Kim, S.-H.Shin, H.-S., 2008, Effects of base-pretreatment on continuous enriched culture for hydrogen production from food waste, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (19), 5266-5274.

Kistler, 2009, 1-Channel Laboratory Charge Amplifier with LCD, analog, https://www.kistler.com/en/product/type-5018a/, [23.01.2020].

Kistler, 2018, Measuring Spark Plug, https://www.kistler.com/en/product/type-6118c/, [23.01.2020].

Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T.Yücesu, H. S., 2009, The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine, *Renewable Energy*, 34 (10), 2101-2106.

Koçtürk, D., 2011, Farklı özelliklerdeki etanol-benzin karışımı yakıtların buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasının çevresel ve ekonomik yönden değerlendirilmesi, *Ankara Üniversitesi* Ankara.

Kotas, T. J., 1995, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, *Malabar*, Krieger Publishing Company.

Kuchler, M.Linnér, B.-O., 2012, Challenging the food vs. fuel dilemma: Genealogical analysis of the biofuel discourse pursued by international organizations, *Food Policy*, 37 (5), 581-588.

Kumar, J. V., Mathew, R.Shahbazi, A., 1998, Bioconversion of solid food wastes to ethanol, *Analyst*, 123 (3), 497-502.

Lam, W. C., Kwan, T. H.Lin, C. S. K., 2015, Enzymes in valorization of food and beverage wastes, In: Enzymes in food and beverage processing, Eds: CRC Press, p. 479-501.

Laser, M., Schulman, D., Allen, S. G., Lichwa, J., Antal, M. J.Lynd, L. R., 2002, A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of sugar cane bagasse for bioconversion to ethanol, *Bioresource Technology*, 81 (1), 33-44.

Lattimore, T., Herreros, J. M., Xu, H.Shuai, S., 2016, Investigation of compression ratio and fuel effect on combustion and PM emissions in a DISI engine, *Fuel*, 169, 68-78.

Lee, D.-Y., Ebie, Y., Xu, K.-Q., Li, Y.-Y.Inamori, Y., 2010, Continuous H2 and CH4 production from high-solid food waste in the two-stage thermophilic fermentation process with the recirculation of digester sludge, *Bioresource Technology*, 101 (1, Supplement), S42-S47.

Leung, C. C. J., Cheung, A. S. Y., Zhang, A. Y.-Z., Lam, K. F.Lin, C. S. K., 2012, Utilisation of waste bread for fermentative succinic acid production, *Biochemical engineering journal*, 65, 10-15.

Magyar, M., da Costa Sousa, L., Jayanthi, S.Balan, V., 2017, Pie waste – A component of food waste and a renewable substrate for producing ethanol, *Waste Management*, 62, 247-254.

Masum, B. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Rizwanul Fattah, I. M., Palash, S. M.Abedin, M. J., 2013, Effect of ethanol–gasoline blend on NOx emission in SI engine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 209-222.

Meisami, F., Ajam, H.Tabasizadeh, M., 2018, Thermo-economic analysis of diesel engine fueled with blended levels of waste cooking oil biodiesel in diesel fuel, *Biofuels*, 9 (4), 503-512.

Melikoglu, M., Lin, C. S. K.Webb, C., 2013a, Stepwise optimisation of enzyme production in solid state fermentation of waste bread pieces, *Food and Bioproducts Processing*, 91 (4), 638-646.

Melikoglu, M., Lin, C. S. K.Webb, C., 2013b, Analysing global food waste problem: pinpointing the facts and estimating the energy content, *Central European Journal of Engineering*, 3 (2), 157-164.

Melikoglu, M.Webb, C., 2013, Chapter 4 - Use of Waste Bread to Produce Fermentation Products, In: Food Industry Wastes, Eds, *San Diego*: Academic Press, p. 63-76.

Melikoglu, M., 2014, Demand forecast for road transportation fuels including gasoline, diesel, LPG, bioethanol and biodiesel for Turkey between 2013 and 2023, *Renewable Energy*, 64, 164-171.

Melikoğlu, M.Albostan, A., 2011, Türkiye'de biyoetanol üretimi ve potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (1).

Melo, T. C. C. d., Machado, G. B., Belchior, C. R. P., Colaço, M. J., Barros, J. E. M., de Oliveira, E. J.de Oliveira, D. G., 2012, Hydrous ethanol–gasoline blends – Combustion and emission investigations on a Flex-Fuel engine, *Fuel*, 97, 796-804.

Menardo, S.Balsari, P., 2012, An Analysis of the Energy Potential of Anaerobic Digestion of Agricultural By-Products and Organic Waste, *BioEnergy Research*, 5 (3), 759-767.

Mohd Azhar, S. H., Abdulla, R., Jambo, S. A., Marbawi, H., Gansau, J. A., Mohd Faik, A. A.Rodrigues, K. F., 2017, Yeasts in sustainable bioethanol production: A review, *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10, 52-61.

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D.Bailey, M. B., 2010, Fundamentals of engineering thermodynamics, John Wiley & Sons.

Moukamnerd, C., Kawahara, H.Katakura, Y., 2013, Feasibility Study of Ethanol Production from Food Wastes by Consolidated Continuous Solid-State Fermentation, *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, Vol.03No.02, 6.

Nair, R., Lennartsson, P. R.Taherzadeh, M. J., 2017a, Bioethanol production from agricultural and municipal wastes, In: Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Eds: Elsevier, p. 157-190.

Nair, R. B., Lennartsson, P. R.Taherzadeh, M. J., 2017b, 8 - Bioethanol Production From Agricultural and Municipal Wastes, In: Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Eds: Wong, J. W. C., Tyagi, R. D.Pandey, A.: Elsevier, p. 157-190.

Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D. R., Yusaf, T. F.Faizollahnejad, M., 2009, Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network, *Applied Energy*, 86 (5), 630-639.

National Instruments, 2020, USB-6210 Multifunction I/O device, https://www.ni.com/en-tr/support/model.usb-6210.html, [23.01.2020].

Neves, M., Kimura, T., Shimizu, N.Nakajima, M., 2007, State of the Art and Future Trends of Bioethanol Production.

Nježić, Z. B., Živković, J. S.Cvetković, B. R., 2010, Possibilities of utilization of leftover bread, *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly/CICEQ*, 16 (4), 399-403.

Oberoi, H. S., Vadlani, P. V., Saida, L., Bansal, S.Hughes, J. D., 2011, Ethanol production from banana peels using statistically optimized simultaneous saccharification and fermentation process, *Waste Management*, 31 (7), 1576-1584.

OECD, 2013, Inventory of estimated budgetary support and tax expenditures for fossil fuels 2013, [3.01.2019].

OECD, 2018, Municipal waste (indicator),

Olugbenga, O.Ibiyemi, O., 2011, Bioethanol production from brewers spent grain, bread wastes and corn fiber, *African journal of food science*, 5 (3), 148-155.

Ozsezen, A. N.Canakci, M., 2011, Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle, *Energy*, 36 (5), 2747-2752.

Özgen, C., 2009, Optimization of bioethanol production from kitchen waste, *PhD Thesis, Middle East Technical University,Ankara*.

Parmar, I.Rupasinghe, H. P. V., 2013, Bio-conversion of apple pomace into ethanol and acetic acid: Enzymatic hydrolysis and fermentation, *Bioresource Technology*, 130, 613-620.

Picotech, 2020, Thermocouple Data Logger, https://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple-data-logger, [23.01.2020].

Pietrzak, W.Kawa-Rygielska, J., 2014a, Ethanol fermentation of waste bread using granular starch hydrolyzing enzyme: Effect of raw material pretreatment, *Fuel*, 134 (Supplement C), 250-256.

Pietrzak, W.Kawa-Rygielska, J., 2014b, Ethanol fermentation of waste bread using granular starch hydrolyzing enzyme: Effect of raw material pretreatment, *Fuel*, 134, 250-256.

Pietrzak, W.Kawa-Rygielska, J., 2015a, Simultaneous saccharification and ethanol fermentation of waste wheat–rye bread at very high solids loading: Effect of enzymatic liquefaction conditions, *Fuel*, 147 (Supplement C), 236-242.

Pietrzak, W.Kawa-Rygielska, J., 2015b, Simultaneous saccharification and ethanol fermentation of waste wheat–rye bread at very high solids loading: Effect of enzymatic liquefaction conditions, *Fuel*, 147, 236-242.

Pleissner, D.Lin, C. S. K., 2013, Valorisation of food waste in biotechnological processes, *Sustainable Chemical Processes*, 1 (1), 21.

RedCorn, R., Fatemi, S.Engelberth, A. S., 2018, Comparing End-Use Potential for Industrial Food-Waste Sources, *Engineering*, 4 (3), 371-380.

Ren, H.-Y., Liu, B.-F., Kong, F., Zhao, L., Ma, J.Ren, N.-Q., 2018, Favorable energy conversion efficiency of coupling dark fermentation and microalgae production from food wastes, *Energy Conversion and Management*, 166, 156-162.

Rostami, S., Kiani Deh Kiani, M., Eslami, M.Ghobadian, B., 2017, The effect of throttle valve positions on thermodynamic second law efficiency and availability of SI engine using bioethanol-gasoline blends, *Renewable Energy*, 103, 208-216.

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E.Soruşbay, C., 1995, İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi Ltd, *Şti., İstanbul*.

Salihoglu, G., Salihoglu, N. K., Ucaroglu, S.Banar, M., 2018, Food loss and waste management in Turkey, *Bioresource Technology*, 248, 88-99.

Schifter, I., Diaz, L., Rodriguez, R., Gómez, J. P.Gonzalez, U., 2011, Combustion and emissions behavior for ethanol–gasoline blends in a single cylinder engine, *Fuel*, 90 (12), 3586-3592.

Scully, S.Orlygsson, J., 2014, Recent Advances in Second Generation Ethanol Production by Thermophilic Bacteria.

Scully, S.Orlygsson, J., 2015, Recent Advances in Second Generation Ethanol Production by Thermophilic Bacteria, *Energies*, 8 (1), 1.

Seshaiah, N., 2010, Efficiency and exhaust gas analysis of variable compression ratio spark ignition engine fuelled with alternative fuels, *International journal of energy and environment*, 1 (5), 861-870.

Sezer, I., Altin, I.Bilgin, A., 2008, Exergetic analysis of using oxygenated fuels in spark-ignition (SI) engines, *Energy & Fuels*, 23 (4), 1801-1807.

Singh, B. R.Singh, O., 2012, Global trends of fossil fuel reserves and climate change in the 21st century, In: Fossil Fuel and the Environment, Eds: IntechOpen, p.

Srinivasan, C. A.Saravanan, C., 2010, Study of combustion characteristics of an SI engine fuelled with ethanol and oxygenated fuel additives, *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 1, 85-91.

Sun, Z., Li, M., Qi, Q., Gao, C.Lin, C. S. K., 2014, Mixed food waste as renewable feedstock in succinic acid fermentation, *Applied biochemistry and biotechnology*, 174 (5), 1822-1833.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023, https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/haberler/ulusal_at-k_yonet-m--eylem_plan--20180328154824.pdf, [7.7.2018].

TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu, 2019, 2019 Yılı Bütçe Sunusu, https://www.tkgm.gov.tr/sites/default/files/faaliyetler-ekler/csb_butce-20181121095425.pdf, [24.5.2018].

Thi, N. B. D., Kumar, G.Lin, C.-Y., 2015, An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective, *Journal of Environmental Management*, 157, 220-229.

TMOGM, 2013, Türkiye'de Ekmek İsrafı Araştırması, http://www.ekmekisrafetme.com/UploadResim/EkmekYayinlar/TurkiyedeEkmekIsrafi.pdf, [22.07.2016].

Topgül, T., Yücesu, H. S., Çinar, C.Koca, A., 2006, The effects of ethanol–unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions, *Renewable Energy*, 31 (15), 2534-2542.

Tseng, K.-H., Shiao, Y.-F., Chang, R.-F.Yeh, Y.-T., 2013, Optimization of Microwave-Based Heating of Cellulosic Biomass Using Taguchi Method, *Materials*, 6 (8), 3404-3419.

Turner, D., Xu, H., Cracknell, R. F., Natarajan, V.Chen, X., 2011, Combustion performance of bio-ethanol at various blend ratios in a gasoline direct injection engine, *Fuel*, 90 (5), 1999-2006.

Uçkun Kiran, E., Trzcinski, A. P., Ng, W. J.Liu, Y., 2014, Bioconversion of food waste to energy: A review, *Fuel*, 134, 389-399.

USDA Economic Research Service, 2017, Global Ethanol Mandates: Opportunities for U.S. Exports of Ethanol and DDGS, BIO-05.

Van der Maarel, M. J. E. C., Van der Veen, B., Uitdehaag, J. C. M., Leemhuis, H.Dijkhuizen, L., 2002, Properties and applications of starch-converting enzymes of the α-amylase family, *Journal of Biotechnology*, 94 (2), 137-155.

Wang, X., Chen, Z., Ni, J., Liu, S.Zhou, H., 2015, The effects of hydrous ethanol gasoline on combustion and emission characteristics of a port injection gasoline engine, *Case Studies in Thermal Engineering*, 6, 147-154.

Wang, Z., Liu, H.Reitz, R. D., 2017, Knocking combustion in spark-ignition engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, 61, 78-112.

World Energy Council, 2016, World Energy Resources, https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf, [21.5.2019].

World Energy Istatistics, 2018, Global Energy Statistical Yearbook 2018, https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html,

Wu, C.-W., Chen, R.-H., Pu, J.-Y.Lin, T.-H., 2004, The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels, *Atmospheric Environment*, 38 (40), 7093-7100.

WWF, 2011, Enerji Raporu: 2050 yılında %100 yenilenebilir enerji, http://d2hawiim0tjbd8.cloudfront.net/downloads/wwf_enerjiraporu.pdf?1410, [23.01.2020].

Xu, Q.-S., Yan, Y.-S.Feng, J.-X., 2016, Efficient hydrolysis of raw starch and ethanol fermentation: a novel raw starch-digesting glucoamylase from Penicillium oxalicum, *Biotechnology for Biofuels*, 9 (1), 216.

Yoon, S. H.Lee, C. S., 2012, Effect of undiluted bioethanol on combustion and emissions reduction in a SI engine at various charge air conditions, *Fuel*, 97, 887-890.

Yücesu, H. S., Sozen, A., Topgül, T.Arcaklioğlu, E., 2007, Comparative study of mathematical and experimental analysis of spark ignition engine performance used ethanol–gasoline blend fuel, *Applied Thermal Engineering*, 27 (2), 358-368.

Zhang, A. Y.-z., Sun, Z., Leung, C. C. J., Han, W., Lau, K. Y., Li, M.Lin, C. S. K., 2013, Valorisation of bakery waste for succinic acid production, *Green chemistry*, 15 (3), 690-695.

Zhang, L.Jahng, D., 2012, Long-term anaerobic digestion of food waste stabilized by trace elements, *Waste Management*, 32 (8), 1509-1515.

Zhang, R., El-Mashad, H. M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C.Gamble, P., 2007, Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion, *Bioresource Technology*, 98 (4), 929-935.

Zhao, H., 2007, HCCI and CAI engines for the automotive industry, Wodhead Publishing Limited.

Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q.Zhang, Y., 2014, Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64 (5), 597-616.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Bahar SAYIN KUL
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Erzurum
Telefon	**:**	0 332 223 33 45
Faks	**:**	0 332 241 21 79
e-mail	**:**	bsayin@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece			**Bitirme Yılı**
Lise	:	Erzurum Merkez Anadolu Lisesi, Erzurum	2006
Üniversite	:	Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi, Erzurum	2010
Üniversite		Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Erzurum	2012
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi FBE. Makine Müh. ABD., Konya	2014
Doktora	:	Selçuk Üniversitesi FBE. Makine Müh. ABD., Konya	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2012-	Selçuk Ünv. Teknoloji Fak. Makine Müh. Böl.	Arş. Gör.

UZMANLIK ALANI

Enerji, Alterantif yakıtlar, Biyoetanol, Termodinamik ve Termoekonomik Analiz, Yanma

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Sayin Kul, B., Kahraman, A., 2016, "Energy and Exergy Analyses of a Diesel Engine Fuelled with Biodiesel-Diesel Blends Containing 5%Biyoethanol", Entropy, 18 (11), 387.

Ciniviz, M., Örs, İ., Sayin Kul, B., 2017, "The Effect of Adding EN (2-ethylhexyl nitrate) to Diesel-Ethanol Blends on Performance and Exhaust Emissions", International Journal of Automotive Science and Technology, 1 (1), 16-21.

Sayin Kul, B., Ciniviz, M.,2019, "A research on fuel properties of biyoethanol produced from waste bread", International Journal of Energy Applications and Technologies, 6 (4), 96-101. (Doktora tezi kapsamında yapılan yayındır).