

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AŞIRI DOLDURMALI BİR DİZEL MOTORUNDA FARKLI
ORANLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ 1. VE 2. KANUNA
GÖRE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tansunur KAYDIRAK

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim ÖZSERT

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AŞIRI DOLDURMALI BİR DİZEL MOTORUNDA FARKLI
ORANLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ 1. VE 2. KANUNA
GÖRE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tansunur KAYDIRAK

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 14/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /
~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
İbrahim ÖZSERT
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Halit YAŞAR
Üye



Doç. Dr.
Vezir AYHAN
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Tansunur KAYDIRAK

14.06.2019

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalıŐmasının yapılması ve yazılması aşamasında çalıŐmamı titizlikle ve sabırla takip eden değerli danıŐman hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim Özsert'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunmaktan gurur duyarım. Her zaman desteğini hissettiğim kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Vezir Ayhan'a, yüksek lisans eğitimim boyunca derslerinde bulunduğum ve her konuda desteklerini alabildiğim tüm saygıdeğer hocalarıma hayatımdan kıymetli izlerini esirgemedikleri ve bana her anlamda katkıda buldukları için teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Her zaman yanımda olduklarından emin olduğum, beni ben yapan, değerli annem Asiye Kaydırak'a, kıymetli babam Ertuğrul Kaydırak'a, sevgili ablam Tuğba Yıldız'a teŐekkürlerimi borç bilirim.

Tansunur Kaydırak

14.06.2019

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması.....	7
BÖLÜM 2.	
DİZEL MOTORLARINDA AŞIRI DOLDURMA VE BİYODİZEL	12
2.1. Dizel Motorlarında Aşırı Doldurma.....	12
2.1.1. Dizel motorlarında kullanılan aşırı doldurma sistemi çeşitleri	15
2.1.1.1. Mekanik aşırı doldurma (süper şarj)	15
2.1.1.2. Egzoz turbo kompresörü ile aşırı doldurma (turbo şarj).....	15
2.1.2. Doğal emiş durumundaki dizel motor ile aşırı doldurma uygulanmış dizel motorun karşılaştırılması.....	16
2.2. Dizel Motorlarında Biyodizel	17
2.2.1. Biyodizelin tanımı ve elde edildiği kaynaklar	17
2.2.2. Biyodizel imalatı	18
2.2.3. Biyodizelin faydaları.....	19

BÖLÜM 3.

ENERJİ-EKSERJİ KAVRAMLARI VE TÜRLERİ.....	20
3.1. Enerji Kavramı.....	20
3.1.1. Çeşitli enerji türleri.....	21
3.1.1.1. Kinetik enerji	21
3.1.1.2. Potansiyel enerji.....	21
3.1.1.3. İç enerji	21
3.2. Ekserji Kavramı	22
3.2.1. Çeşitli ekserji türleri	22
3.2.1.1. Kinetik ekserji.....	23
3.2.1.2. Potansiyel ekserji	23
3.2.1.3. Fiziksel ekserji	23
3.2.1.4. Kimyasal ekserji	24
3.2.2. Ekserji analizinin uygulama sırası.....	24

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
4.1. Deney düzeneği.....	25
4.1.1. Deney motoru.....	26
4.1.2. Yakıt ölçüm ünitesi.....	27
4.1.3. Hidrolik dinamometre	28
4.1.4. Sıcaklık ölçüm termokuplları.....	28
4.1.5. Motor soğutma suyu ve eşanjör soğutma suyu debimetreleri.....	28
4.1.6. Egzoz gaz emisyon ve egzoz gaz duman koyuluğu ölçüm cihazları	29
4.1.7. Kontrol ünitesi ve egzoz gaz emisyonu ölçüm ekranı	30
4.1.8. Hava kütleli debi ölçer ve bağıl nem ölçer	30
4.2. Deney yakıtları.....	30
4.3. Enerji ve ekserji analizleri için yapılan kabuller.....	32
4.3.1. Termodinamiğin birinci kanunu	32
4.3.2. Motora enerji analizinin uygulanması.....	34
4.3.2.1. Birim zamanda silindire giren yakıt enerjisi (Q _{yakıt}).....	34

4.3.2.2. Efektif güç (Pf)	35
4.3.2.3. Birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji (Qsoğ.)	35
4.3.2.4. Birim zamanda egzoz ile atılan enerji (Qeg.).....	36
4.3.2.5. Diğer kayıplar (Qd.)	37
4.3.2.6. Efektif verim (η)	37
4.3.2.7. Özgül yakıt tüketimi, ÖYT	37
4.3.3. Termodinamiğin ikinci kanunu.....	38
4.3.4. Motora ekserji analizinin uygulanması.....	39
4.3.4.1. Birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisi (Exyakıt)	39
4.3.4.2. Net ekserjetik güç (ExNe)	40
4.3.4.3. Birim zamandaki soğutucu akışkana geçen ekserji (Exsoğ.)	40
4.3.4.4. Birim zamandaki egzoz ile atılan ekserji (Exeg.)	41
4.3.4.5. Diğer kayıplar ekserjisi (ExQd).....	45
4.3.4.6. Birim zamandaki yok olan ekserji değeri (Exkayıp)	46
4.3.4.7. Ekserjetik verim (η_{II}).....	46
4.3.4.8. Birim ekserji maliyeti (C)	47
4.4. Belirsizlik Analizi	47

BÖLÜM 5.

ÖRNEK UYGULAMA.....	49
5.1. Enerji Analizi	49
5.1.1. Birim zamanda silindire giren yakıt enerjisi (Qyakıt)	49
5.1.2. Efektif güç (Pf)	49
5.1.3. Birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji (Qsoğ.)	50
5.1.4. Birim zamanda egzoz ile atılan enerji (Qeg.).....	50
5.1.5. Diğer kayıplar (Qd.)	51
5.1.6. Efektif verim (η).....	52
5.1.7. Özgül yakıt tüketimi (ÖYT).....	52
5.2. Ekserji Analizi.....	53

5.2.1. Birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisi (Exyakıt)	53
5.2.2. Net ekserjetik güç (ExNe)	54
5.2.3. Birim zamandaki soğutucu akışkana geçen ekserji (Exsoğ.)	54
5.2.4. Birim zamandaki egzoz ile atılan ekserji (Exeg.)	54
5.2.5. Diğer kayıplar ekserji (ExQd.)	61
5.2.6. Birim zamandaki yok olan ekserji değeri (Exkayıp)	61
5.2.7. Ekserjetik verim (η_{II})	61
5.2.8. Birim ekserji maliyeti (C)	62

BÖLÜM 6.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME	63
6.1. Enerji Analizi	64
6.1.1. Motorun doğal emiş durumunda B0 - B10 - B20 - B50 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu	64
6.1.2. Motorun aşırı doldurma uygulaması durumunda B0 - B20 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu	71
6.2. Ekserji Analizi	79
6.2.1. Motorun doğal emiş durumunda B0 - B10 - B20 - B50 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu	79
6.2.2. Motorun aşırı doldurma uygulaması durumunda B0 - B20 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu	87

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR	100
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	110

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

M_d	: Döndürme Momenti (Nm)
P_f	: Efektif Güç (kW)
\dot{Q}	: Isı Transferi Değeri (kW)
\bar{R}	: Evrensel Gaz Sabiti (kJ/kmol.K)
$c_{p,s}$: Soğutma Suyu Özgül Isısı (kJ/kg.°C)
\dot{m}	: Kütleli Debi (kg/s)
0	: Çevre Koşulları
C	: Birim Ekserji Maliyeti
E_x	: Ekserji Değeri (kW)
F	: Yük (N)
g	: Yer Çekimi İvmesi (m/s ²)
h	: Entalpi (kJ/kmol)
H/Y	: Hava Yakıt Oranı
H_u	: Alt Isıl Değer (kJ/kg)
l	: Uzunluk (m)
m	: Kütle (kg)
n	: Motor Devir Sayısı (d/d)
P_{me}	: Ortalama Efektif Basınç (kPa)
s	: Entropi (kJ/kmol.K)
T	: Sıcaklık (°C veya K)
V	: Hız (m/s)
V_H	: Motor Strok Hacmi (m ³)

x_i	: Kütlesel Kesir
y^e	: Referans Çevredeki Bileşenin Mol Kesri
z	: Yükseklik (m)
η	: Efektif Verim
η_{II}	: Ekserjetik Verim
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
ω	: Açısal Hız (rad/s)
θ	: Krank Mili Açısı ($^{\circ}$ KMA)
φ	: Kimyasal Ekserji Faktörü

Kısaltmalar

B0	: Dizel
B10	: %10 Dizel+%90 PYME
B20	: %20 Dizel+%80 PYME
B50	: %50 Dizel+%50 PYME
BP	: British Petroleum
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbon Dioksit
ç	: Çıkış
d.	: Diğer
eg	: Egzoz
em	: Egzoz Manifoldu
es	: Eşanjör Soğutma Suyu
fzk	: Fiziksel
g	: Giriş
H ₂ O	: Dihidrojen Monoksit
HC	: Hidro Karbon
kim	: Kimyasal

kn : Kinetik
ln : Doğal Logaritma
mot : Motor
ms : Motor Soğutma Suyu
NOx : Azot Oksit
ort : Ortalama
ÖYT : Özgül Yakıt Tüketimi
pt : Potansiyel
PYME : Pamuk Yağı Metil Esteri
SO₂ : Kükürt Dioksit
soğ. : Soğutma
tm : Termomekaniksel
top : Toplam

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yakıt tiplerine göre dünya enerji kullanım yüzdeleri.	1
Şekil 1.2. Türkiye’de ve Dünya’da enerji üretimi ve tüketimi.	2
Şekil 1.3. Dünya’da birincil enerji tüketimi.	3
Şekil 2.1. Doğal emişli ve aşırı doldurmalı bir dizel motorun P-V diyagramı.	17
Şekil 4.1. Enerji dağılımlarının tespiti için kurulmuş deney düzeneğinin şematik gösterimi.	26
Şekil 4.2. Yakıt ölçüm ünitesi.	27
Şekil 4.3. Deney düzeneği debimetreleri.	29
Şekil 4.4. Hava kütleli debi ölçer, bağıl nem ölçer, yakıt deposu.	30
Şekil 4.5. Enerji akış diyagramı.	33
Şekil 4.6. İçten yanmalı bir dizel motor için kontrol hacminin şematik gösterimi.	33
Şekil 4.7. Motor silindirindeki ekserji dengesi.	38
Şekil 4.8. Ekserji akış diyagramı.	39
Şekil 6.1. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için yakıt enerjisi (Q _{yakıt}) değerleri.	65
Şekil 6.2. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için efektif güç (Pf) değerleri.	65
Şekil 6.3. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için soğutucu akışkana geçen enerji (Q _{soğ.}) değerleri.	66
Şekil 6.4. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için egzoz ile atılan enerji (Q _{eg.}) değerleri.	67
Şekil 6.5. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için kayıp enerji (Q _{d.}) değerleri.	67
Şekil 6.6. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için efektif verim (η) değerleri.	68
Şekil 6.7. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için özgül yakıt tüketimi değerleri.	69
Şekil 6.8. Tüm devir sayılarında B0 (STD) yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.	69

Şekil 6.9. Tüm devir sayılarında B10 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.	70
Şekil 6.10. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.	70
Şekil 6.11. tüm devir sayılarında B50 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.	70
Şekil 6.12. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş yakıt enerjisi (Qyakıt) değerleri.	71
Şekil 6.13. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma yakıt enerjisi (Qyakıt) değerleri.	72
Şekil 6.14. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş efektif güç (Pf) değerleri.	72
Şekil 6.15. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma efektif güç (Pf) değerleri.....	73
Şekil 6.16. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş soğutucu akışkana geçen enerji (Qsoğ.) değerleri.	73
Şekil 6.17. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma soğutucu akışkana geçen enerji (Qsoğ.) değerleri.....	74
Şekil 6.18. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş egzoz ile atılan enerji (Qeg.) değerleri.	74
Şekil 6.19. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma egzoz ile atılan enerji (Qeg.) değerleri.	75
Şekil 6.20. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş kayıp enerji (Qd) değerleri.....	75
Şekil 6.21. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma kayıp enerji (Qd) değerleri.	76
Şekil 6.22. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş efektif verim (η) değerleri.....	77
Şekil 6.23. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma efektif verim (η) değerleri.	77
Şekil 6.24. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş özgül yakıt tüketimi değerleri.....	78

Şekil 6.25. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma özgül yakıt tüketimi değerleri.	78
Şekil 6.26. Tüm devir sayılarında B0 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.	79
Şekil 6.27. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.	79
Şekil 6.28. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için yakıt ekserjisi (Exyakıt) değerleri.	80
Şekil 6.29. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için net ekserjetik güç (ExNe) değerleri.....	81
Şekil 6.30. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için soğutucu akışkan ekserjisi (Exsoğ.) değerleri.	82
Şekil 6.31. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için egzoz ekserjisi (Exeg.) değerleri.	82
Şekil 6.32. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için toplam kayıplar ekserjisi (ExQd.) değerleri.	83
Şekil 6.33. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için yok olan ekserji (Exkayıp) değerleri.	84
Şekil 6.34. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için ekserjetik verim (η) değerleri.	85
Şekil 6.35. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için efektif verim (η) – ekserjetik verim (η) karşılaştırması.	85
Şekil 6.36. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için birim ekserji maliyeti (C) değerleri.	86
Şekil 6.37. Tüm devir sayılarında B0 (STD) yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.	86
Şekil 6.38. Tüm devir sayılarında B10 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.	87
Şekil 6.39. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.	87
Şekil 6.40. Tüm devir sayılarında B50 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.	87

Şekil 6.41. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş yakıt ekserjisi (Exyakıt) değerleri.	88
Şekil 6.42. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma yakıt ekserjisi (Exyakıt) değerleri.	89
Şekil 6.43. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş net ekserjetik güç (ExNe) değerleri.	89
Şekil 6.44. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma net ekserjetik güç (ExNe) değerleri.	90
Şekil 6.45. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş soğutucu akışkana geçen enerji (Exsoğ.) değerleri.	90
Şekil 6.46. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma soğutucu akışkana geçen enerji (Exsoğ.) değerleri.	91
Şekil 6.47. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş egzoz ekserjisi (Exeg.) değerleri.	92
Şekil 6.48. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma egzoz ekserjisi (Exeg.) değerleri.	92
Şekil 6.49. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş toplam kayıplar ekserjisi (ExQd.) değerleri.	93
Şekil 6.50. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma toplam kayıplar ekserjisi (ExQd.) değerleri.	93
Şekil 6.51. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş yok olan ekserji (Exkayıp) değerleri.	94
Şekil 6.52. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma yok olan ekserji (Exkayıp) değerleri.	94
Şekil 6.53. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş ekserjetik verim (η_{II}) değerleri.	95
Şekil 6.54. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma ekserjetik verim (η_{II}) değerleri.	96
Şekil 6.55. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş birim ekserji maliyeti (C) değerleri.	96
Şekil 6.56. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma birim ekserji maliyeti (C) değerleri.	97

Şekil 6.57. Tüm devir sayılarında B0 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.....	97
Şekil 6.58. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.	98



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Enerji ve ekserji kavramlarının kıyası.	20
Tablo 4.1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanların ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri.	26
Tablo 4.2. Deneylerde kullanılan motor özellikleri.	27
Tablo 4.3. S tipi yük hücresi teknik özellikleri.	28
Tablo 4.4. Egzoz gaz ölçüm cihazı aralık ve hassasiyeti.	29
Tablo 4.5. Deneyler sırasında kullanılan yakıtların bazı temel özellikleri.	31
Tablo 4.6. Çevrenin tanımı (Moran ve Shapiro, 2000).	44
Tablo 4.7. Hesaplanan büyüklüklerin belirsizlikleri.	48
Tablo 5.1. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün mol kesri, kütlesel debisi.	58
Tablo 5.2. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün çevre ve egzoz sıcaklıklarındaki entalpi ve entropi değerleri.	58
Tablo 5.3. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün termomekaniksel ekserji değerleri.	59
Tablo 5.4. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün kimyasal ekserji değerleri.	59
Tablo 5.5. Her bir yanma ürününün toplam ekserji değeri.	60

AŞIRI DOLDURMALI BİR DİZEL MOTORUNDA FARKLI ORANLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ 1. VE 2. KANUNA GÖRE ANALİZİ

ÖZET

Dizel motorlar efektif verimlerinin yüksek olması ve düşük yakıt tüketimleri gibi önemli üstünlükleri nedeni ile birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Partikül madde ve NO_x emisyonlarının iyileştirilmesi başta olmak üzere, yakıt maliyetlerinin düşürülmesi ve yüksek güç üretimi amacıyla yenilenebilir, güvenilir, bozunabilir alternatif yakıt arama gereksinimi doğmuştur. Dizel yakıtına alternatif olan biyoyakıt enerjisi; güvenilir, yüksek setan sayısına sahip, bozunabilir, çevreci bir yakıttır, bunların yanı sıra yakıt sisteminde herhangi bir modifikasyona ve ilave bir aksama ihtiyaç duyulmadan kullanılıyor oluşu tercih sebeplerindedir. Biyodizeller, dizel motorlarda saf olarak kullanılabilirliklerinin yanında dizel yakıt ile belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir.

Bu çalışmada; standart dizel yakıtı ve pamuk yağından transesterifikasyon metoduyla üretilmiş pamuk yağı metil esteri kullanılmış, dizel yakıtına %10, %20 ve %50 oranlarında harmanlanmıştır. Elde edilen yakıt harmanlarının kullanılması durumları için, tek silindirli aşırı doldurmalı bir dizel motora enerji ve ekserji analizi uygulanarak, motordaki enerji ve ekserji dağılımları tespit edilmiştir. Böylece; söz konusu yakıtlar ile çalıştırılan aşırı doldurmalı bir dizel motorun yakıt enerjisi, egzoz enerjisi, soğutucu akışkana geçen enerjisi, kayıp enerjisi, efektif gücü, efektif verimi, özgül yakıt tüketimi gibi termodinamiğin birinci kanun parametreleri ile yakıt ekserjisi, egzoz ekserjisi, soğutucu akışkan ekserjisi, net ekserjetik gücü, diğer kayıplar nedeniyle kayıp ekserjisi, yok olan ekserji değeri, ekserjetik verimi, birim ekserji maliyeti gibi termodinamiğin ikinci kanun parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen yakıt türlerinde, yapılan enerji ve ekserji analiz verileri birbiriyle karşılaştırılarak grafiklerle ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Sonuç olarak; çalışmada kullanılan yakıtların pekçok özelliğinin birbirine yakın olmasından dolayı özellikle B20 yakıtının doğal emiş durumunda B0 yakıtına alternatif olarak kullanılabilceği söylenebilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtının pekçok özelliği bakımından B20 yakıtına kıyasla avantajlı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, enerji ve ekserji analizinin birlikte uygulanması daha gerçekçi ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: Dizel Motor, Aşırı Doldurma, Biyoyakıt, Pamuk Yağı Metil Esteri, Enerji ve Ekserji Analizi.

ACCORDING TO 1st AND 2nd LAW ANALYSIS OF DIFFERENT RATES BIODIESEL USE IN A TURBOCHARGING DIESEL ENGINE

SUMMARY

Diesel engines are widely used in many areas due to their high efficiency and low fuel consumption. The need for a renewable, reliable, degradable alternative fuel search has been created in order to reduce fuel costs and to generate high power, especially for the improvement of particulate matter and NO_x emissions. Biofuel energy as an alternative to diesel fuel; is a reliable, high cetane number, degradable, environmentally friendly fuel, as well as being used in the fuel system without any modification and without the need for additional disruption. Biodiesel can be used in diesel engines as pure as well as mixed with diesel fuel in certain proportions.

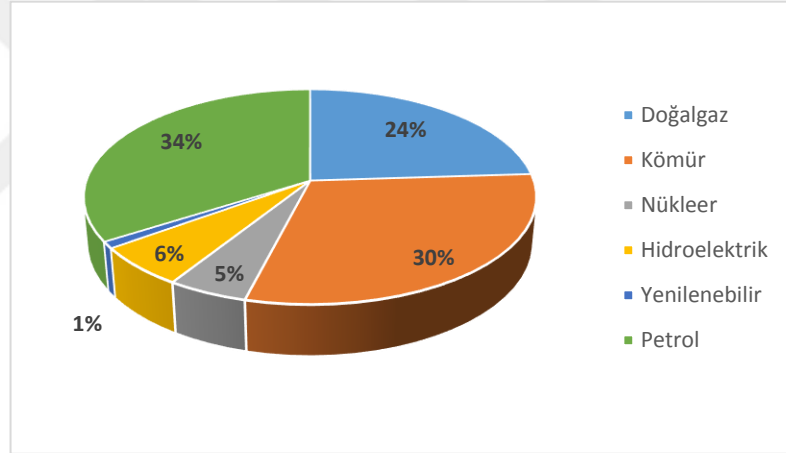
In this study; Standard diesel fuel and cotton oil, which were produced by transesterification method, were mixed with 10%, 20% and 50%. Energy and exergy analysis of the motor were determined by applying energy and exergy analysis to a single cylinder overfill diesel engine. Thus; fuel energy, exhaust energy, energy passing through the refrigerant, loss energy, effective power, effective efficiency, specific fuel consumption of the first diesel engine, fuel exergy, exhaust exergy, refrigerant exergy, net exergetic power, the second law parameters of the thermodynamics such as loss exergy, exergy destruction, exergetic efficiency, unit exergy cost were calculated. For each fuel obtained, the results of energy and exergy analysis are compared with each other and given in detail with graphs.

As a result; Although many properties of the fuels used in the study are close to each other, it can be said that in case of natural absorption B20 fuel can be used as an alternative to B0 fuel. In the case of overfilling, it has been observed that B0 fuel has many advantages over B20 fuel. In this study, the combined application of energy and exergy analysis resulted in more realistic and accurate results.

Keywords: Diesel Engine, Turbocharging, Biofuel, Cotton Oil Methyl Ester, Energy and Exergy Analysis.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

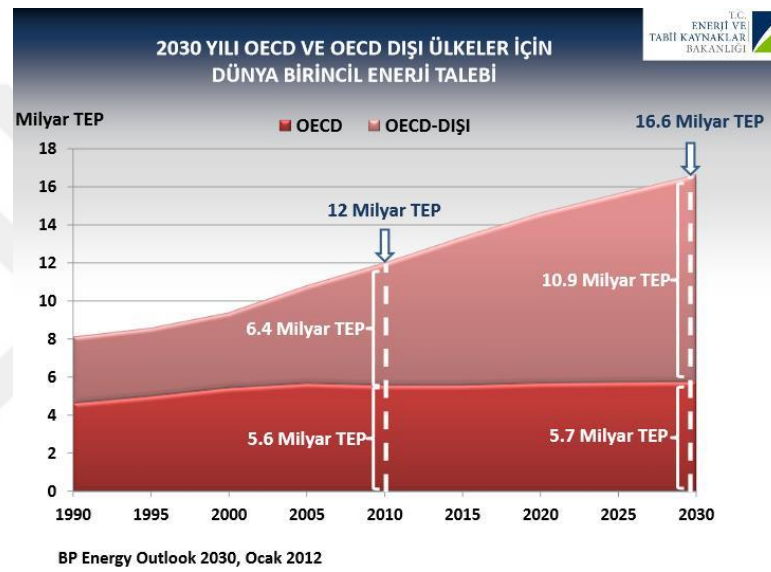
Enerji, dünyanın en temel ve büyük ihtiyaçlarından biridir. Günden güne artan enerji talebine karşılık, yüksek enerji maliyetleri büyük problem teşkil etmektedir. Bu enerji talebinde en büyük paya sahip olan yakıt türleri doğalgaz, petrol ve kömür içerikli fosil yakıtlardır. Şekil 1.1.'de yakıt tiplerine göre enerji kullanım yüzdeleri verilmiştir (BP Statistical Review 2011; Adaçay, 2014; Yakıncı ve Kök, 2017).



Şekil 1.1. Yakıt tiplerine göre dünya enerji kullanım yüzdeleri.

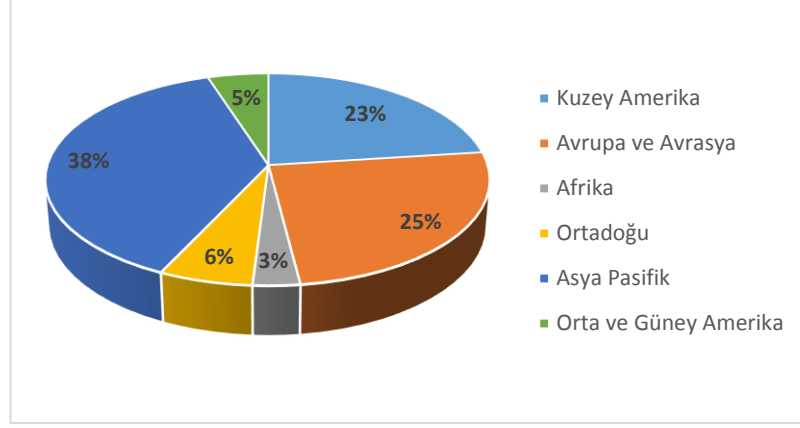
Ham petrol 1900'lü yıllardaki gibi, 2000'li yıllarda da insan hayatını tanımlayan en önemli faktörlerden biridir. Ülkelerin ilerleyebilmesi ve bu durumun devam ettirilebilir olması için enerjiye gereksinimleri vardır. Dünya'daki enerji sisteminin çoğunluğu hidrokarbon kaynaklara dayanmaktadır (Kuleyin ve Cerit, 2011). Günümüzün vazgeçilmez enerji kaynağı olan petrol plastik araç gereçlerden uçak yakıtı gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. 2011 British Petroleum (BP) istatistiklerine göre petrolün 46 yıllık ömrünün kaldığı belirtilmektedir. Yapılan araştırmalarda, bulunan çeşitli yeni rezervler ile bu ömrün en fazla 50 yıl olduğu tahmin edilmektedir (Bulut, 2018). Dolayısıyla fosil yakıtlara bağımlılığı azaltacak

yenilenebilir, alternatif enerji kaynakları araştırma ve çalışmalarına hız vermek gerekli olacaktır. Kaliforniya Üniversitesi araştırmacıları tarafından yürütülen araştırma insanoğlunun ayda yaklaşık 2580 milyar varil petrol kullandığını ve kullanımın her yıl arttığını ortaya koymuştur. İstatistiklere göre kullanım aynı hızla devam ederse 2041 yılında dünyadaki petrolün tamamı bitmiş olacaktır (EPPAM, 2019). Şekil 1.2.'de görüldüğü gibi enerji kaynaklarındaki kıtlık ve bilinçsiz tüketim nedeniyle enerji üretimi ile enerji tüketimi arasında fark oluşmakta ve bu fark sürekli artmaktadır (İlker ve ark., 2003).



Şekil 1.2. Türkiye’de ve Dünya’da enerji üretimi ve tüketimi.

Enerji ihtiyacının petrol ve türevlerinden karşılanması, buna karşılık olarak petrol kaynaklarının tükenmekte oluşu ve petrol türevi yakıtların karbon dioksit (CO₂) ve sera gazı salınımı açısından çevre dostu olmayışı araştırmacı ve imalatçıları alternatif yakıt arama ihtiyacına itmiştir. Türkiye’de ise enerji ihtiyacının %80’inden fazlası ithalat yolu ile karşılanmaktadır, bu nedenle ülkemizde de alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar yapılması ve alternatif kaynakların kullanılması durumu kaçınılmazdır (Demir, 2009). Şekil 1.3.’te coğrafi açıdan enerji tüketim dağılımı verilmiştir (BP Statistical Review 2011).



Şekil 1.3. Dünya'da birincil enerji tüketimi.

Enerji kullanımında tasarruf ile verimliliği artırma üzerine araştırma ve çalışmalar yapılması önemlidir. Türkiye'de enerji tüketim güvenliğinin gerçekleştirilebilmesi ve sürekliliği için ilk olarak enerji talep artışını kontrol etmek gerekmektedir. Bu amaçla, enerji tasarrufu kültürünün iyileştirilmesi ve sağlanması için çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Enerji tüketiminde verimliliğin artırılması ve tüketimin düşürülmesi artan enerji talebinin kontrol altına alınmasına fayda sağlayacaktır. Karayolu taşımacılığına alternatif olarak demiryolu taşımacılığı tercih edilerek, kişisel taşıtlar yerine toplu taşıma araçlarının kullanılmasının oranı artırılarak petrol ürünlerine duyulan talep azaltılmalıdır (Çalışkan, 2009).

Otomotiv sektörü; yedek parça, akaryakıt, servis, sigorta, ulaşım gibi sektörler ile olan yakın ilişkisi nedeniyle lokomotif bir sanayi dalıdır ve dünyanın altıncı büyük ekonomisine sahip yenilikçi bir sektördür. Otomotiv sektörü ülkelerin ekonomisine sağladığı katkılardan dolayı rekabet gücü haline gelmiştir. Türkiye'de otomotiv sektörü en önemli 3 sektörden biri olmasının yanında yaklaşık 60 yıllık bir geçmişe sahiptir. Türkiye'de otomotiv sektörüne ilk adım, 1954 yılında Tuzla'da kurulan Jeep fabrikası ile hayata geçen askeri cipler ve kamyonetlerin üretilmesi ile olmuştur (Anonim, 2019a).

Otomotiv sektörü ile direkt ilgili olan ve aynı zamanda hizmet sektörünün alt dalı olan taşımacılık sektörünün toplam enerji tüketimi içindeki payı oldukça büyüktür (Sayın, 2014).

Otomotiv sektörünün temeli olan dizel motorlar efektif verimlerinin yüksek olması ve düşük yakıt tüketimleri gibi önemli avantajları nedeni ile birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Sayın, 2014). Fakat, yaydıkları yüksek partiküllü maddeler ve nitrojen oksit emisyonları (NO_x) nedeni ile kullanımı bazı alanlarda sınırlanmaktadır. Bu nedenle; partikül madde ve nitrojen oksit emisyonlarının iyileştirilmesi başta olmak üzere, yakıt maliyetlerinin azaltılması, yakıt tüketiminin düşürülmesi ve yüksek güç üretimi amacı ile verimli, yenilenebilir, güvenilir, bozunabilir alternatif yakıt arama ihtiyacı doğmuştur (Batmaz ve Murcak, 2004).

Dizel yakıtı alternatif olan biyoyakıt enerjisi; güvenilir, yüksek setan sayısına sahip, yenilenebilir, sülfür içermeyen çevre dostu, oksijen içerikli ve bozunabilir bir yakıt oluşu, bunların yanı sıra yakıt sisteminde herhangi bir modifikasyona ve ilave bir aksama ihtiyaç duyulmadan kullanılıyor oluşu tercih sebeplerindedir (Er, 2009; Sayın, 2014; Yaşar ve Ali, 2016;). Fakat, bitkisel yağların dizel motorlarda kullanılabilmesi için çeşitli yöntemlerle biyodizelle dönüştürülmesi gerekmektedir. Biyodizeller, dizel motorlarda saf olarak kullanabilmelerinin yanında dizel yakıt ile belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir (Alptekin ve Çanakçı, 2006; Salman ve ark., 2002; Kılıçkan ve ark., 2008).

Türkiye’de en fazla üretilen yağ bitkileri mısır, pamuk, ayçiçeği olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yağ bitkileri arasında üretimi en fazla olan bitki ise pamuktur. Piyasada satılan yağlar arasında en ucuz olanı da pamuk yağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yönüyle pamuk, Türkiye’de biyodizel üretimi için önemli bir kaynak olarak görülebilmektedir (Ergen ve ark., 2005; Er, 2009).

Dünyada son yıllarda fosil enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması, insanoğluna enerjinin değerini göstermiş ve devamlı artan enerji ihtiyaçları sebebiyle enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılma çabası doğmuştur (Doğan ve Yılankırkan, 2015). Bu nedenle mühendislik sistemlerinin verimlilikleri ve dolayısıyla enerji ve ekserji analizleri hakkında yapılan araştırmalar oldukça önem taşımaktadır.

19. yüzyılda bilim insanları ısı enerjisiyle çalışan makinelerde enerji alışverişinin matematiksel kaidelerini ortaya koyma amacıyla yaptıkları çalışmalarda, enerjinin çeşitli formları arasında bir ilişki olduğunu, birbirlerine dönüşebildiklerini tespit etmişlerdir (Erbaş, 2006).

Termodinamiğin birinci kanununa göre (Enerjinin korunumu yasası); enerji yoktan var edilemez ve var olan enerji de yok edilemez. Enerji yalnızca biçim değiştirir. Termodinamiğin birinci kanununa göre; bu biçim değişikliği neticesinde, total enerji miktarı değişmez. Bu ifadeye göre; bir hal değişimi esnasında bir kontrol hacminin total enerjisindeki net farkın, kontrol hacmine giren total enerji ile kontrol hacminden çıkan total enerji arasındaki farka eşit olacağı söylenebilir (Çengel ve Boles, 2006).

Termodinamiğin birinci kanununa göre; içten yanmalı motorlara enerji analizinin uygulanması sırasında, motora giren yakıtın enerjisi ile motor çıkış gücü kullanılarak, kayıp enerji miktarları ve motorun verimi tespit edilmektedir. Böylece yakıt enerjisinin motorda işe çevrilen miktarı olan motor veriminin artırılması ve yapılan iş başına harcanan yakıt miktarını sembolize eden özgül yakıt tüketiminin azaltılması ve yakıt ekonomisi sağlanması konusunda katkı sağlanabilir. Yapılan enerji analizi, çeşitli motor aksamalarınca harcanan yakıt enerjisi dağılımını, başka bir söylemle giren yakıt enerjisinin ne kadar ve nasıl kullanıldığının sonucunu vermektedir. Ancak; termodinamik bir sisteme sadece enerji analizi uygulanması sistemdeki tersinmezliklerin belirlenememesine ve böylelikle hatalı saptamaların yapılmasına neden olabilmektedir (Abedin ve ark., 2013).

Termodinamiğin ikinci kanununa göre; tüm enerji dönüşüm süreçleri tersinmezdir. Bir enerji formu hiçbir zaman tümüyle diğer bir enerji formuna dönüşmez. Burada dönüşemeyen enerjinin yok olduğu anlamı çıkarılmamalıdır. Çünkü birinci kanuna göre enerji yok edilemez. Bu dönüşememenin diğer bir anlamı dönüşecek enerji biçiminin bir kısmının iş üretme yeteneğinin olmayışdır (Erbaş, 2006).

Termodinamiğin ikinci kanununa göre, içten yanmalı motorlara ekserji analizi uygulanması ile enerjinin değerlendirilemeyen kısmının ve tersinmezlikler nedeniyle

oluşan kayıpların termodinamik sistemin hangi kısımlarında ve hangi miktarda olduğu tespit edilebilmektedir (Çengel ve Boles, 2006). Enerji analizi ile kıyas edildiğinde; ekserji analizi, enerjinin niceliği yanında niteliği ile de ilgilenmektedir. Böylelikle; ekserji analizi uygulanarak, enerjinin motorda değerlendirilemeyen kısmının ve tersinmezliklerin daha net ve doğru sonuçlarla belirlenmesi sağlanabilir.

İçten yanmalı motorlarda, yakıttan elde edilen ısı enerjisinin mekanik enerjiye (efektif-faydalı güç) dönüşümü esnasında kayıplar meydana gelmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi; termodinamiğin 1. kanununa göre yapılan analiz çalışmaları motordaki enerji kayıplarının tespiti, termodinamiğin 2. kanununa göre yapılan analiz çalışmaları kayıp enerjilerin iş üretme kabiliyetlerinin tespiti açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle, içten yanmalı motorlardaki kayıpların değişik çalışma şartları altında termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre tespit edilmesi motorların geliştirilmesi ve optimizasyonu açısından önemlidir.

Günümüzde, taşıt performansına önem verilmesinin yanı sıra yakıt ekonomisine de dikkat edilmektedir. İçten yanmalı motorlara yönelik çalışmaların en önemli amaçlarından biri; motor ısı kayıplarının azaltılarak, motor verimi ve efektif gücünün artırılmasıyla emisyon değerlerini azaltmaktır. Bu nedenle içten yanmalı motorlara aşırı doldurma sistemi uygulanarak aracın verimini artırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Bu uygulamalar, yakıtın yanma odası içinde daha yüksek oranlarda yanmasını ve böylelikle yanmamış yakıt miktarının azalmasını sağlamaktadır. Böylece, birim akaryakıt miktarı azalırken elde edilen enerji miktarı artmaktadır.

Aşırı doldurma uygulanmış bir motorun güç değerinde yaklaşık %40 artış görülebilir. Aşırı doldurma uygulaması, dizel ve benzin motorlarında uygulanabilmektedir. Dizel motorlarında aşırı doldurma uygulaması ile verim artırılmakta, yüksek performanslı ve gürültüsüz bir çalışma elde edilmektedir (Özülkü, 2002).

Dizel motorlarında aşırı doldurma uygulaması, motor verimini artırmanın yanı sıra egzoz gazlarının çevreye ve insan sağlığına zararlı kirletici bileşenlerinin birim güç başına olan miktarını azaltmaktadır.

Gottlieb Daimler, 1885 yılında benzin motoruna uyguladığı aşırı doldurma için, Rudolf Diesel de 1886 yılında aşırı doldurmalı bir dizel motor için patent almışlardır. Dizel motor, aşırı doldurma uygulaması sonucunda; doğal emiş durumuna kıyasla %30 daha fazla güç üretmiştir (Özülkü, 2002).

Bu çalışmada, standart dizel yakıtı ile pamuk yağından transesterifikasyon metoduyla üretilmiş pamuk yağı metil esteri dizel yakıtta farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen yakıt karışımları kullanılmıştır. Belirtilen saf dizel yakıt ve karışımları için, tek silindirli direkt püskürtmeli aşırı doldurmalı bir dizel motora enerji ve ekserji analizi uygulanarak motordaki enerji ve ekserji dağılımları tespit edilmiştir. Böylece; söz konusu yakıtlar ile çalıştırılan aşırı doldurmalı bir dizel motorun yakıt enerjisi değeri, egzoz enerjisi değeri, soğutucu akışkana geçen enerji değeri, kayıp enerji değeri, efektif güç, efektif verim, özgül yakıt tüketimi gibi termodinamiğin birinci kanun parametreleri ile yakıt ekserjisi değeri, egzoz ekserjisi değeri, net ekserjetik güç, soğutucu akışkan ekserji değeri, kayıplar nedeniyle çevreye olan ekserji değeri, yok olan ekserji değeri, ekserjetik verim, birim ekserji maliyeti gibi termodinamiğin ikinci kanun parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen yakıt türlerinde, yapılan enerji ve ekserji analiz verileri birbiriyle karşılaştırılarak grafiklerle ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

1.1. Kaynak Araştırması

Bu bölümde içten yanmalı motorlara uygulanan termodinamiğin birinci kanun ve ikinci kanun analiz değerlendirmeleri üzerine yapılan çalışmaların bir kısmı kronolojik sıralama ile verilmiştir.

Salman ve ark. (2002), içten yanmalı motorlar üzerine yaptıkları çalışmada; tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda motor devrine göre silindir

içerisine giren yakıt enerjisinin, elde edilen efektif güce ve kayıp enerjilere dönüşen miktarlarını deneysel metodla incelenmişlerdir. Silindir içerisine giren toplam yakıt enerjisinin motor devrine bağlı olarak değişimi irdelendiğinde, momentin en yüksek değerini aldığı devirde efektif güç değerinin en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı devirde egzoz gazı ve motor soğutma suyu nedeniyle kayıp olan ısı enerjisi değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Momentin en yüksek değerini aldığı devirden itibaren motor devri arttığında veya azaldığında efektif güce dönüşen ısı enerjisinin azaldığını, egzoz gazı ve soğutma suyu nedeniyle oluşan kayıp ısıların değerinin arttığını belirlemişlerdir.

Erbaş (2006), çalışmasında tek silindirli, su soğutmalı ve sıkıştırma oranıyla oynanabilen benzin motorunda farklı sıkıştırma oranlarında termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre analizler yaparak, birim zamanda motordaki egzoz gazlarıyla atılan enerji, birim zamanda soğutma suyuna geçen enerji, çeşitli kayıplar nedeniyle kayıp enerjileri, kayıp enerjilerin kullanılabilirliğini ve motor milinden alınan faydalı gücünü tespit ederek en uygun çalışma şartlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışma sonucunda, sıkıştırma oranının artırılmasının kayıpları azalttığını, efektif güç değerlerini ise artırdığını tespit etmiştir. Efektif ve ekserjetik verim sonuçlarına göre motor kayıplarının en az olduğu çalışma aralığının 8,2 sıkıştırma oranı ve 1600 d/d olduğunu tespit etmiştir. Egzoz veriminin sıkıştırma oranı azaldıkça arttığını tespit etmiştir. Soğutma ve ısı transferi gibi enerjilerin kullanılabilirliğinin çok düşük olduğu, egzoz enerjilerinin kullanılabilirliğinin ise çok yüksek olduğu sonuçlarına varmıştır.

Örnek (2007), kanola, soya, pamuk ve atık ayçiçek yağından üretilen biyodizel yakıtlar ile aşırı doldurmalı bir dizel motorda tam yükte ve farklı motor devir sayılarında deneyler gerçekleştirmiştir. Dizel yakıtta %5 oranında biyodizel karıştırılmasının egzoz emisyonlarına (CO, SO₂, NO_x, is ve O₂) etkilerini incelemiştir. Deneyler sonucunda; CO ve is emisyonlarının azaldığı, SO₂ ve NO_x emisyonlarında ciddi bir fark olmadığını tespit etmiştir. Dizel yakıtta %5 oranında ilave edilen farklı biyodizel yakıtların motor torkunda, gücünde, egzoz gazı sıcaklığı

ve yağlama yağı sıcaklığında önemli bir değişime neden olmadığını gözlemlerken, özgül yakıt tüketimi değerinin bir miktar arttığını gözlemlemiştir.

Kılıçkan ve ark., (2008), direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda pamuk yağı, transesterifikasyon metoduyla elde edilen pamuk yağı etil ve metil esterlerinin yakıt olarak kullanılmasının motor performans ve emisyonlara etkilerini incelemiştir. Motor deneylerinde dönme momenti, yakıt tüketimleri ve emisyon değerlerini ölçerek güç, özgül yakıt tüketim hesaplamaları yapmışlardır. Deneyler sonucunda, pamuk yağı alkil esterlerinin dizel yakıt ile benzer değerlere sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Er (2009), aşırı doldurmalı bir dizel taşıtında alternatif yakıt olarak ham pamuk yağı ve pamuk yağı metil esteri kullanımının taşıt performansı üzerine etkisini incelemiştir. Taşıt performansını belirlemek amacıyla, taşıtı farklı vites konumlarında ve farklı devirlerde çalıştırmasıyla elde ettiği veriler ile dizel yakıtı ve pamuk yağı metil esterinin benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğunu tespit etmiştir.

Demir (2009), çalışmasında pamuk yağı tohumundan transesterifikasyon metoduyla elde ettiği pamuk yağı metil esterini yakıt olarak kullanmış ve motor performans testleri yapmıştır. Elde ettiği pamuk yağı metil esterini dizel yakıtı %20 ve %50 oranlarında karıştırarak direkt enjeksiyonlu aşırı doldurmalı bir motorda, tam yükte ve farklı devir sayılarında motor performans testleri gerçekleştirmiştir. Sistemin enerji ve ekserji verimliliklerini termodinamiğin 1. ve 2. kanunları gereğince hesaplamış ve sırasıyla %83,71 ve %90,92 olarak hesap etmiştir.

Reşitoğlu (2010), çalışmasında atık yağlardan elde ettiği biyodizelin bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonuna etkisini deneysel olarak incelemiştir. Biyodizeli, eurodizel yakıt ile farklı oranlarda hacimsel olarak karıştırarak deney yakıtları elde etmiştir. Deneyleri tek silindirli bir dizel motorunda tam yük koşullarında gerçekleştirmiş, performans, emisyon ve özgül yakıt tüketimi değerlerini tespit etmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda deney yakıtlarının motor

performans açısından dizel yakıtına yakın değerlere sahip olduğunu belirlemiştir. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde dizel yakıtına kıyasla artmalar tespit etmiş, egzoz emisyon değerlerinde azalmalar gözlemlemiştir.

Sayın (2014), çalışmasında tek silindirli, su soğutmalı bir dizel motor için termodinamiğin 1. ve 2. kanununa göre enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Motorun farklı devir sayılarında 4 farklı yakıtla çalıştırılması durumu için analizler gerçekleştirmiştir. %5 biyoetanole farklı oranlarda dizel ve biyodizeli karıştırarak deney yakıtları elde etmiştir. Ürettiği bu yakıtlar ile motoru çalıştırarak termodinamiğin 1. ve 2. kanununa göre analizleri gerçekleştirmiştir. Analizler sonucunda dizel yakıtının diğer yakıt numunelerine kıyasla daha yüksek efektif verime ve ekserjetik verime sahip olduğunu tespit etmiştir.

Budhale ve Desai (2015), makalelerinde motor testi kullanmışlar, sürtünme gücünün deneysel olarak değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri, tek silindirli dört zamanlı dizel motor üzerinde yapmışlardır. Deneysel sonuçlardan, toplam sürtünme gücünün teorik analiz ile karşılaştırdıklarında daha fazla olduğunu görmüşlerdir.

Yaşar ve Ali (2016), direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda yaptıkları çalışmada enerji ve ekserji analizi üzerine dizel ve biyodizel yakıt kullanmanın etkilerini incelemişlerdir. Dizel yakıtı, pamuk ve soya biyodizeli kullanmanın enerji ve ekserji performansı üzerine etkilerini tespit etmek için sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; dizel yakıtının, pamuk ve soya biyodizeline kıyasla daha iyi enerji ve ekserji performansına sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Hazar ve Öztürk (2016), çalışmalarında ham yer fıstığı yağından transesterifikasyon yoluyla elde ettikleri fıstık yağı metil esteri ve standart dizel yakıt kullanarak doğal emişli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı yükler altında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde fıstık yağı metil esteri kullanımı durumunda elde ettikleri CO, HC, is, NO_x emisyonları dizel yakıt değerleri ile kıyas ederek vermişlerdir. Deneyler sonucunda fıstık yağı metil ester yakıtının emisyon değerlerinin dizel yakıtına göre daha düşük sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. CO,

HC, is emisyon değerlerinde önemli oranda düşüş sergilediğini görürlerken, NO_x emisyon değerlerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Ayhan ve ark., (2019), çalışmalarında ham ayçiçek yağından transesterifikasyon tekniğıyle elde ettikleri metil esteri dizel yakıt ile karıştırmışlar, elde ettikleri yakıt karışımlarını direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanarak bu karışımların motor performans ve egzoz gazı emisyonlarına etkisini deneysel yöntemlerle incelemişlerdir. Deneyle, dizel ve dizel yakıtta farklı oranlarda karıştırdıkları biyodizel karışımları (B10, B20, B50) ile tam yük ve farklı motor devirlerinde gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, B10 ve B20 yakıtları kullanılması durumunda, efektif güç ve tork değerlerinde B0 kullanım durumuna göre artmalar tespit etmişlerdir, B50 karışımı kullanılması durumunda azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Motor efektif gücü ve torkunda maksimum artış B20 yakıtı kullandıkları durumda gözlemlemişlerdir. B20 yakıtı kullanıldığında HC, CO ve is emisyonlarında azalmaların meydana geldiğini görmüşler, NO emisyonlarında ise artmaların olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çakmak ve Bilgin (2017), çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunda mısır yağı metil esteri kullanmanın termodinamiğin 1. ve 2. kanununa göre analizini gerçekleştirmişlerdir. Mısır yağı biyodizeli ve dizel yakıtı kullanarak yaptıkları deneylerde termodinamik analizler için lazım olan verileri elde etmişlerdir. Yapılan termodinamik analizlerden elde ettikleri neticelere göre mısır yağı biyodizeli kullandıkları durumda özgül yakıt sarfiyatı %11,89 artış göstermiş, özgül enerji sarfiyatı %2,25 azalma göstermiştir. Mısır yağı metil esteri ve dizel yakıt kullandıkları durumda motorun ekserjetik verimi aynı olmasına rağmen, mısır yağı metil esteri kullandıkları durumda efektif verim %0,76 oranında artış göstermiştir. Dizel yakıt ve mısır yağı metil esteri için yok olan ekserji değerini sırası ile 6,77 kW ve 6,67 kW olarak hesaplamışlardır.

BÖLÜM 2. DİZEL MOTORLARINDA AŞIRI DOLDURMA VE BİYODİZEL

2.1. Dizel Motorlarında Aşırı Doldurma

Son 50 yılda yaşanan petrol krizleri ve çevre kirliliği faktörü, motor üretiminde dayanıklılık, güvenilirlik ve maliyet faktörlerinin yanı sıra motor verimliliği, motor gücü, yağ-yakıt sarfiyatı ve çevre faktörlerine de önem verilmesine ihtiyaç doğurmuştur. Örneğin, dizel motorlarda yanma odasının genişletilerek yüksek basınçlı ve kısa borulu elektronik enjeksiyon sistemine sahip, egzoz gazlarının motor çıkışı ile birlikte filtrelenerek aşırı doldurma ve ara soğutma özellikleri kazanması, motor gücü ve verimi açısından oldukça faydalı sonuçlar alınmasını sağlamıştır (Özülkü, 2002).

Egzoz emisyon değerlerinin azaltılması ve düşük yakıt sarfiyatı nedenleri, otomotiv sektöründe kullanılan motor-iletim organları teknolojisinde kayda değer gelişmeler yaşanmasını sağlamaktadır. Verimin yüksek oluşu ve düşük yakıt sarfiyatı gibi üstünlükler nedeniyle dizel motorlar ile yürütülen çalışmalar gün geçtikçe değer kazanmaktadır. Dizel motorlarında yanma kontrolü, hava ve yakıt hatlarının dikkatli bir şekilde kontrol edilmesini gerektirmektedir. Dizel motorlarındaki hava hattı kontrolü, hava debisi kontrolü ve aşırı doldurma basıncı kontrolünden meydana gelmektedir. Dizel motorlarından elde edilebilecek en fazla güç, silindir içerisinde verimli olarak yanabilecek yakıt miktarı ile kısıtlıdır (Heywood, 1988). Eş ölçülerdeki motorda silindir içindeki havanın yoğunluğunun çevre havasından fazla olması durumunda, silindir içi ortalama efektif basınç değeri ile motordan elde edilebilecek maksimum güç değeri artacaktır. Dizel motorlara bu nedenle aşırı doldurma uygulamaları uygulanmaktadır (Emekli ve Özgül, 2014).

Belirli boyutlara sahip bir dizel motorun gücünü yükseltmek amacıyla, silindir içerisine bir çevrimde silindire giren hava-yakıt oranını artırmak gereklidir. Doğal emişli bir motordan farklı olarak kompresör vasıtasıyla silindire daha fazla hava miktarı ileten bu sisteme sahip motorlara “aşırı doldurma uygulanmış motor”, yapılan bu uygulamaya ise “aşırı doldurma (turbocharging veya supercharging)” denmektedir (Özülkü, 2002).

Aşırı doldurma özelliği ile silindir içerisine gönderilen havanın basıncı ve yoğunluğu artırılarak motor çıkış gücü yükseltilir. Farklı bir açıdan bakarsak amaç düşük ağırlık ve hacme sahip bir motorun çıkış gücünü artırmaktır. Dizel motorlarda güç:

$$N_m \approx P_{me} \cdot V_h \cdot n \quad (2.1)$$

formülünde belirtildiği üzere toplam motor strok hacmi (V_H), ortalama efektif basınç (P_{me}) ve motor devir sayısı (n) üzerinden hesaplanırsa, belli boyutlara sahip bir dizel motorun (V_H =sabit) gücünü artırmamız için ortalama efektif basıncın ya da motor devir sayısının artırılması gerekmektedir. Devir sayısı direkt enjeksiyonlu dizel motorlarda 3500-5000 d/d olarak belirlenen limit değerlerdedir. Piston biyel ve supap mekanizmasındaki atalet kuvvetleri artarken, motor devir sayısındaki artış sınırlanmaktadır. Bu sebeple devir sayısını artırmaktan ziyade, aşırı doldurma uygulaması ile ortalama efektif basınç değerinin artırılması daha doğru bir yöntem olacaktır. Gücün aşırı doldurma yöntemi ile artırılması motorun daha gürültüsüz, yumuşak ve performanslı çalışmasını sağladığından direkt enjeksiyonlu motorlar için oldukça cazip bir hale gelmektedir. Ancak ortalama efektif basıncın artması, maksimum basınç ve sıcaklıkların artmasına neden olmaktadır, bu durum da termik ve mekanik yüklerin artmasına ve güç artışının sınırlanmasına yol açmaktadır. Bu sebeple, daha özellikli ve uygun malzeme seçimi yapılması gerekmektedir. Güç kazanımının ağırlık artışından her zaman fazla olması maliyetin kabul edilebilir seviyelerde olmasını sağlamaktadır (Özülkü, 2002; İçingür ve Eray,2003).

Aşırı doldurmalı motorların avantajları aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir:

- Küçük motor hacmi ve az silindir sayısı ile daha yüksek güç elde edilebilir. Bu da mekanik verimin artması anlamına gelmektedir (Özülkü, 2002).
- Belirli bir motor gücüne daha hafif bir motor ile ulaşılabilir. Yani motordan birim ağırlık başına elde edilen güç değeri artar.
- Motordan elde edilen gücün dış ortam basıncına bağımlılığı azalmaktadır (Özülkü, 2002).
- Soğutma işlemi için gereken sıvı miktarı azaldığından dolayı soğutma sisteminin boyutunun küçülmesini sağlar, doğal emiş durumundaki bir motora kıyasla ısı kayıpları yaklaşık olarak %15-20 azalmaktadır (Özülkü, 2002).
- Egzoz türbini ile yapılan aşırı doldurma birçok durumda daha yüksek oranlarda verim elde edilmesini ve kısmi yüklerde özgül yakıt tüketimi eğrisinin düzelmesini sağlar.
- Aşırı doldurma sistemi ile egzoz emisyonunda da iyileşmeler gözlenmektedir. Dizel motorlarda hava fazlalık katsayısı büyüklüğü, sıcaklık seviyesi arttığı ve tutuşma gecikmesi kısaldığından CO, HC ve is emisyonunda da düşme gözlenir. Fakat; daha yüksek çalışma sıcaklığı sebebiyle NO_x emisyonu da artmaktadır.
- Maliyette azalma sağlamaktadır.

Dizel motorlarda aşırı doldurma uygulamasının belirtilen avantajlarının yanında aşağıda verildiği gibi dezavantajları da mevcuttur:

- Taşıt motorlarının egzoz türbini ile tahrik durumunda, düşük devir ve yüklerde, türbin performansının düşmesi sebebiyle doldurucu basıncı gerekli basınca ulaşamamaktadır. Dolayısıyla oluşan kötü karakteristik durum taşıtlar için istenmeyen bir durum oluşturmaktadır.

Egzoz gazları ve türbin tahrik mekanizması arasında oluşan dezavantajlar bazı önlemler ile büyük oranda giderilebilmektedir. Tüm bu dezavantajlara rağmen,

egzoz türbini ile tahrik sistemi k   kl  , basitliği, düşük devir sayısında bile yüksek verimliliği ile dizel motorlarında vazgeçilmez konumdadır ( z lk , 2002).

2.1.1. Dizel motorlarında kullanılan aşırı doldurma sistemi  eŐitleri

2.1.1.1. Mekanik aşırı doldurma (süper Şarj)

Motor krank milinden veya harici bir kaynaktan g c alınarak kompresör  evriliyorsa, bu motorlara mekanik aşırı doldurmalı motorlar denmektedir. Mekanik süper Şarj uygulamalarında, motorun egzoz gazı içindeki enerjisinden yararlanmak mümkün değildir (Polat, 2011; Emekli ve  zg l, 2014).

Mekanik aşırı doldurma uygulamasında; hareket motordan alındığı için motorda yaklaşık olarak %10 verim kaybına neden olmakta ve gürültüyü artırmaktadır. Bakım maliyetinin fazla oluşu dezavantajlarından biridir (Yavaş ve GökaŐan, 2016).

2.1.1.2. Egzoz turbo kompresörü ile aşırı doldurma (turbo Şarj)

Dizel motorlarda kullanılan aşırı doldurma uygulamaları içinde, egzoz turbo kompresörü ile aşırı doldurma uygulaması enerji verimliliği açısından diğer uygulamalara göre  ne çıkmaktadır (Hiereth ve Prenninger, 2007; Emekli ve özgül, 2014).

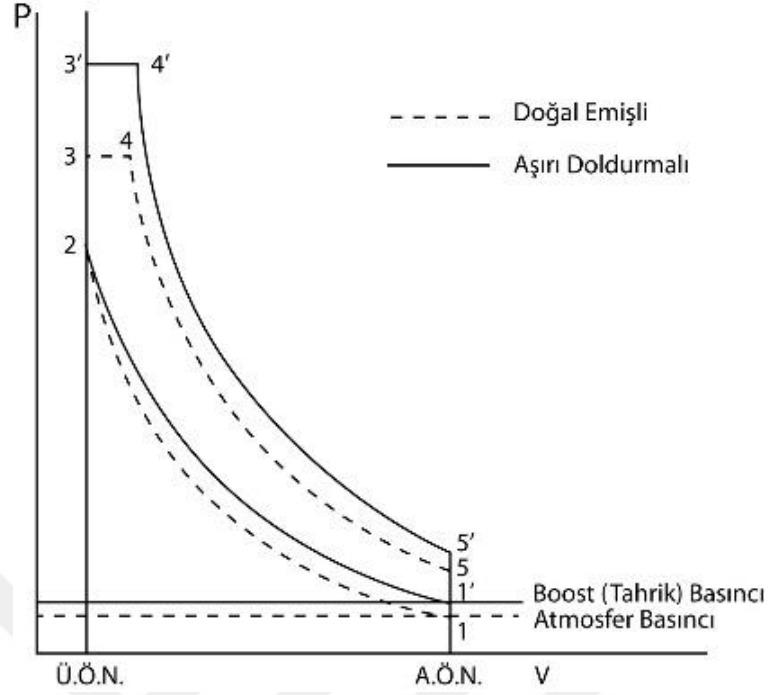
Motor silindirine giren havanın basınçlı olarak, başka bir ifadeyle yüksek yoğunlukta gönderilmesi olarak tanımlanan egzoz turbo kompresörü ile aşırı doldurma uygulamasında; motor egzozundan çıkan sıcak egzoz gazlarının enerjisi ile t rb n döndürülmekte, t rb n ise ba lı olduğu milin ucundaki kompresörü döndürmektedir. Motor içerisine gönderilen ideal sıcaklıktaki hava sıkıŐtırıldı ında, hava basıncı artarak yakıtın tam olarak ve yüksek verimde yanmasını sa lar. Egzoz turbo kompresörü ile aşırı doldurma uygulaması, dizel motorlarında oldukça olumlu sonuçlar vermektedir. Bu uygulama Şekli ile motorda %50 üzerinde bir g c artışı elde edilebilir ( z lk , 2002; MEGEP, 2006; Polat, 2011).

İçten yanmalı motorların gücü, motorun ağırlığını ve hacmini değiştirmeye gerek kalmadan yakıtla beraber emilen hava dolgununun oranını artırmakla yükseltilebilir (Uzun, 1998). Motor performansı artırılırken, kirlenici egzoz gaz emisyonları ve bir ölçüde gürültü kirliliği azaltılabilmektedir.

2.1.2. Doğal emiş durumundaki dizel motor ile aşırı doldurma uygulanmış dizel motorun karşılaştırılması

Aşırı doldurma uygulamalarının temel amacı, eşit strok hacmi ile daha çok güç elde etmek veya belirli bir çıkış gücü nedeniyle motorun ağırlığını ve hacmini azaltmaktır. Bu amaç, kompresör aracılığıyla silindire yüksek basınç altında daha yüksek oranda hava göndererek yakılabilecek yakıt oranının yükseltilmesi ile yapılır. Böylelikle aşırı doldurma uygulanmış motorlar, doğal emiş durumundaki motorlara kıyasla daha hafif ve ufak hacimli olmaktadır. Bu, birim çıkış gücü için daha düşük maliyet anlamına gelmektedir (Apaydın ve ark., 2017). Şekil 2.1.'de doğal emişli ve aşırı doldurmalı bir dizel motorun P-V diyagramları verilmiştir (Anonim, 2019b).

Çalışma koşullarına bağlı olarak, özgül yakıt tüketim değeri aşırı doldurmalı bir dizel motorunda doğal emiş durumundaki motora kıyasla daha düşük değerlere sahiptir. Aşırı doldurma uygulamasında sıkıştırma başlangıcında basınç yüksektir, bu nedenle sıkıştırma sonundaki basınç ve sıcaklık değerleri de yüksek olur. Böylelikle; aşırı doldurma uygulaması yapılan dizel motorunda tutuşma gecikmesi kısalarak, motorun yumuşak çalışması sağlanır. Silindir içerisine giren hava miktarı, aşırı doldurma uygulaması sayesinde artmaktadır. Böylelikle, kontrollü bir yanma sağlanmış olur ve doğal emiş durumundaki motora kıyasla daha düşük egzoz gazı emisyon değerleri elde edilir (Özülkü, 2002).



Şekil 2.1. Doğal emişli ve aşırı doldurmalı bir dizel motorun P-V diyagramı.

2.2. Dizel Motorlarında Biyodizel

2.2.1. Biyodizelin tanımı ve elde edildiği kaynaklar

Biyodizel; yağlı bitkisel tohumların, atık ve hayvansal yağların, her türlü biyolojik kökenli yağın bir katalizör aracılığıyla kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) tepkimeye girmesi neticesinde elde edilen ve yakıt olarak kullanılabilen TS EN 14214 standardına uygun yağ asidi metil esterleridir. Biyodizel, kimyasal yapısında yüksek oranda oksijen barındıran, zehirleyici etkisi bulunmayan, bozunabilir ve yenilenebilir alternatif bir dizel motor yakıtıdır. Dizel motorlarında kullanılması durumunda; motor aksamalarında herhangi bir değişikliğe gerek olmadan direkt olarak (saf) veya dizel yakıtı karıştırılarak kullanılabilir. Biyodizel üretiminde; kanola, mısır, ayçiçeği, palm, keten, soya, zeytin, badem, kenevir, aspir, yer fıstığı ve pamuk gibi bitkilerden elde edilen yağlardan, atık yağlardan, meyve çekirdeklerinden elde edilen yağlardan ve hayvansal yağlardan yararlanılmaktadır (Altınsoy, 2007; Aktaş ve Sekmen, 2008; Güven, 2010; İşler, 2011; Ögüt ve ark., 2014; Akınerdem, 2014).

2.2.2. Biyodizel imalatı

Biyodizel imalatında günümüzde en sık olarak tercih edilen metod transesterifikasyon metodudur. Bu metod ile biyodizel imalatında aşağıda ifade edilen üretim safhaları izlenmektedir.

1. Alkol ve katalizörün karıştırılması: Katalizör karakteristik olarak sodyum hidroksit veya potasyum hidroksittir. Katalizör standart bir karıştırıcı yardımıyla alkol içerisinde parçalanır.
2. Tepkime: Alkol / katalizör karışımı kapalı tepkime kabı içerisinde, bitkisel veya hayvansal yağ ile karıştırılır. Alkol kaybını engellemek için sistem tamamen havaya kapatılır. Tepkime karışımı, tepkimeyi hızlandırmak için belirli sıcaklıkta tutulur ve tepkime meydana gelir. Tavsiye edilen tepkime süresi 1 ile 8 saat arasında değişmektedir. Bazı sistemler tepkimenin oda sıcaklığında olmasını gerektirir.
3. Ayırma: Tepkime sona erdikten sonra iki temel ürün gliserin ve biyodizeldir. İstenirse tepkime karışımı bu safhada nötralize edilebilir. Gliserinin yoğunluğu, biyodizele kıyasla çok daha yüksek olduğu için bu iki faz gravite ile ayrılabilir ve gliserin fazı çöktürme kabının dibinden kolayca çekilebilir. Bazı durumlarda bu iki malzemeyi daha hızlı ayırmak için santrifüj yapılabilir.
4. Alkolün ayrıştırılması: Gliserin ve biyomotorin fazları ayrıştırıldıktan sonra her bir fazdaki artık alkol bir flaş buharlaştırma veya distilasyon prosesi ile ayrıştırılır ve tepkime karışımı nötralize edilir. Gliserin ve ester fazları birbirinden ayrılır. Her iki durumda da alkol distilasyon kolonu ile geri kazanılır ve tekrar kullanılır. Geri kazanılan alkol içerisinde su bulunur.
5. Gliserin fazının nötralizasyonu: Gliserin yan ürünü, kullanılmamış katalizör ve bir asit ile nötralize edilen sabunlar içerir ve ham gliserin olarak saklanmak üzere depolama tankına gönderilir.
6. Metil ester yıkama işlemi: Biyomotorin, gliserinden ayrıldıktan sonra atık katalizör ve sabunları ayrıştırmak için ılık su ile yavaş olarak yıkanır, su ayrıştırılır ve depolanır (Anonim, 2019c).

2.2.3. Biyodizelin faydaları

- Tüm dizel motorlarda ilave bir aksama ihtiyaç olmadan dizel yakıtı eşdeğer olarak kullanılabilir.
- Diğer petrol ürünlerine kıyasla daha az karbon salınımı olması nedeniyle çevrecidir, bu nedenle temiz yanma özelliklerine sahiptir.
- Biyodizel motordaki kirleri temizleyerek motor ömrünü uzatır.
- Biyodizel için gerekli olan ürünlerin yetişmesi adına daha geniş üretim ve istihdam olanakları sağlar.
- Yüksek parlama noktasına sahiptir.
- Dizel yakıtı kıyasla setan sayısı daha yüksektir (Anonim, 2019d).

BÖLÜM 3. ENERJİ-EKSERJİ KAVRAMLARI VE TÜRLERİ

Termodinamiğin 1. ve 2. kanunu, termodinamiğin temeli olarak ifade edilmektedir. Birinci kanun; enerjinin ne kadarının nasıl kullanıldığının, başka bir ifade ile enerjinin dönüşümü olarak ifade edilirken, ikinci kanun; enerjinin niteliği olarak ifade edilmektedir. Enerji bir proseste korunurken, ekserji ise tersinir proseslerde korunabilmektedir. Ancak; ekserji, tersinmez proseslerde tersinmezlikler sebebiyle tüketilmektedir (Erbaş, 2006; Akan, 2012). Tablo 3.1.'de enerji ve ekserji kavramlarının kıyası görülmektedir.

Tablo 3.1. Enerji ve ekserji kavramlarının kıyası.

Enerji	Ekserji
Niceliğin bir ölçüsüdür.	Niceliğin ve entropi sebebiyle niteliğin bir ölçüsüdür.
Bir proseste daima korunur. Vardan yok, yoktan var edilemez.	Prosesin tersinir olması durumunda daima korunurken, prosesin tersinmez olması durumunda tüketilir.
Her proses için termodinamiğin 1. kanunu ile ifade edilir.	Tersinir prosesler için termodinamiğin 1. kanunu ile ifade edilirken, tersinmez prosesler için 2. kanun ile ifade edilir.

3.1. Enerji Kavramı

Enerji, bir maddenin ya da makinenin iş yapabilme yeteneğidir ve bir proses boyunca her zaman korunmaktadır. Bir başka söylemle enerji korunumu ilkesi; sistemle çevresinin etkileşimi esnasında enerjinin bir biçimden bir biçime dönüştürülebileceği, ancak toplam miktarının daima sabit kalacağı olarak tanımlanmaktadır. Enerji korunumu ilkesi, termodinamiğin birinci kanunu olarak ifade edilmektedir. Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin değişik şekilleri arasında olan ilişkileri ve enerji etkileşimlerini incelemektedir.

3.1.1. Çeşitli enerji türleri

Enerji; mekanik, kinetik, ısı, potansiyel, kimyasal, nükleer, elektrik gibi türlere ayrılmaktadır. Bu enerji türlerinin tamamı sistemin toplam enerjisini meydana getirmektedir. Manyetik, elektrik, nükleer enerji türleri dikkate alınmadığında bir sistemin toplam enerji miktarı, birim kütle için kinetik, potansiyel ve iç enerjilerin toplamı olarak denklem 3.1 ile ifade edilebilir (Çengel ve Boles, 2006).

$$e = u + e_{kn} + e_{pt} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte e_{kn} kinetik enerjiyi, e_{pt} potansiyel enerjiyi, u iç enerjiyi ifade etmektedir.

3.1.1.1. Kinetik enerji

Kinetik enerji; bir cismin veya sistemin sahip olduğu hız V olmak üzere, bu hızdan kaynaklanan enerji türüdür (Sarı, 2008). Denklem 3.2 ile elde edilir.

$$e_{kn} = \frac{v^2}{2} \quad (3.2)$$

3.1.1.2. Potansiyel enerji

Potansiyel enerji; durağan haldeki parçacıkların meydana getirdiği bir sistemde, parçacıkların konumlarından doğan enerji türüdür. g , yer çekimi ivmesi ve z , bir referans noktasına göre yüksekliği olmak üzere, potansiyel enerji denklem 3.3 ile elde edilir.

$$e_{pt} = gz \quad (3.3)$$

3.1.1.3. İç enerji

Birim kütle başına u iç enerji, bir maddenin; taneciklerinin öteleme, dönme, titreşim gibi hareketlerinden kaynaklanan kinetik enerji ile fiziksel ya da kimyasal bağları

veya nükleonları bir arada tutan kuvvet gibi etkileşimlerinin enerjilerinin toplamı olarak ifade edilmektedir.

3.2. Ekserji Kavramı

Çeşitli kaynaklara göre ekserji tanımlamaları aşağıda kronolojik olarak verilmiştir.

- Gazlarda, sıvılarda ya da bir kütlede, herhangi bir referans çevreye göre varolan dengesizliğin sebep olduğu iş potansiyelidir (Ahem, 1980),
- Sistemin çevresiyle etkileşimi sonucu, ısı geçişinin yalnızca çevresiyle olması durumunda oluşabilecek maksimum teorik iştir (Bejan, 1996),
- Belirli bir haldeki sistemin yapabileceği en çok iştir (Çengel ve Boles, 2006),
- Tersinmez sistemler veya süreçlerde, entropi üretiminin sebep olduğu kullanılabilir enerji kaybını tanımlayan bir ifadedir (Hepbaşlı, 2008).

Tersinmez, termodinamikte geri dönüşümü olmayan işlemlere verilen isimdir. Bu mantıkla, doğal olayların hepsi tersinmez olarak isimlendirilebilir. Tersinmezlik olgusu, termodinamik bir sistemde bulunan moleküller farklı bir termodinamik sisteme aktarılsa bile, yeni sistemdeki atom ve molekül yapısı farklı olmasından dolayı oluşmaktadır. Bir miktar dönüşüm enerjisi, çalışan cisim mantığıyla bir halden başka bir hale geçerken harcanmaktadır. Dolayısıyla bir miktar ısı enerjisi moleküller arası çarpma ve sürtünmeden dolayı kaybedilecek ya da dağılacaktır ve bu işlemi ters çevirdiğinizde geri kazanım olmayacaktır.

3.2.1. Çeşitli ekserji türleri

Akış halindeki bir maddenin birim kütlesi için kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjilerinin toplamı toplam ekserji miktarını vermektedir. ε_{kn} kinetik ekserji, ε_{pt} potansiyel ekserji, ε_{fzk} fiziksel ekserji ve ε_{kim} kimyasal ekserji olmak üzere (Özek, 2013);

$$\varepsilon_{top} = \varepsilon_{kn} + \varepsilon_{pt} + \varepsilon_{fzk} + \varepsilon_{kim} \quad (3.4)$$

Termomekaniksel ekserji 3.5 denklemi ile belirtilip,

$$\varepsilon_{tm} = \varepsilon_{kn} + \varepsilon_{pt} + \varepsilon_{fzk} \quad (3.5)$$

3.4 denklemi yeniden düzenlenirse toplam ekserji için,

$$\varepsilon_{top} = \varepsilon_{tm} + \varepsilon_{kim} \quad (3.6)$$

bağıntısı elde edilir.

3.2.1.1. Kinetik ekserji

ε_{kn} , birim kütle için kinetik ekserjidir. Sistemin bir referans noktasına göre hareketi sonucunda sahip olduğu enerjinin iş potansiyeli şeklinde ifade edilir (Sayın, 2014). Kinetik ekserji, V hız olmak üzere denklem 3.7. ile elde edilir.

$$\varepsilon_{kn} = \frac{v^2}{2} \quad (3.7)$$

3.2.1.2. Potansiyel ekserji

Birim kütle için ε_{pt} , sistemin yerçekimi ivmesi altındayken bir referans noktasına göre yüksekliğinden kaynaklanan enerjinin iş potansiyelidir (Sayın, 2014). g, yer çekimi ivmesi ve z, bir referans noktasına göre yüksekliği olmak üzere, potansiyel ekserji denklem 3.8. ile edlde edilir.

$$\varepsilon_{pt} = gz \quad (3.8)$$

3.2.1.3. Fiziksel ekserji

Sistemin ilk durumunda sıcaklığı T ve basıncı P iken, çevre koşulları T_o , P_o olmak üzere, ilk durum ile çevre şartlarının termodinamik denge haline getirilmesi durumunda sistemden elde edilebilecek en fazla iş olarak ifade edilir.

$$\varepsilon_{fzk} = [(h - h_0) - T_0 (s - s_0)] \quad (3.9)$$

Fiziksel ekserji 3.9 denklemi ile elde edilir. h ve s , sırasıyla belirli bir basınç ve sıcaklık değeri için entalpi ve entropi, h_0 ve s_0 ise akışkanın referans çevre ile dengede olduğu durumdaki entalpi ve entropi değerlerini ifade etmektedir.

Fiziksel ekserji değeri aynı zamanda termomekaniksel ekserji değeri olarak da ifade edilmektedir.

3.2.1.4. Kimyasal ekserji

Fiziksel ekserjide, sistemin çevresiyle termodinamik denge hali olması durumunda kıstas çevre şartlarıyken, kimyasal ekserjide bu başlangıç durumudur. Maddenin çevre ile ısı veya madde transferi içeren prosesler ile ölü durumuna getirilmesi sonucunda meydana gelen en fazla iş miktarı olarak ifade edilmektedir (Sayın, 2014). Yakıtlara ait kimyasal ekserji değerleri, yakıtı meydana getiren bileşenlere bağlı olarak denklem 3.10 ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{kim} = -\bar{R}T_0 \ln y^e \quad (3.10)$$

Bu ifadedeki 0 alt indisi sistemin çevre koşullarında olduğunu, \bar{R} evrensel gaz sabitini, y^e egzoz gazı bileşeninin çevre içindeki mol kesrini ifade etmektedir.

3.2.2. Ekserji analizinin uygulama sırası

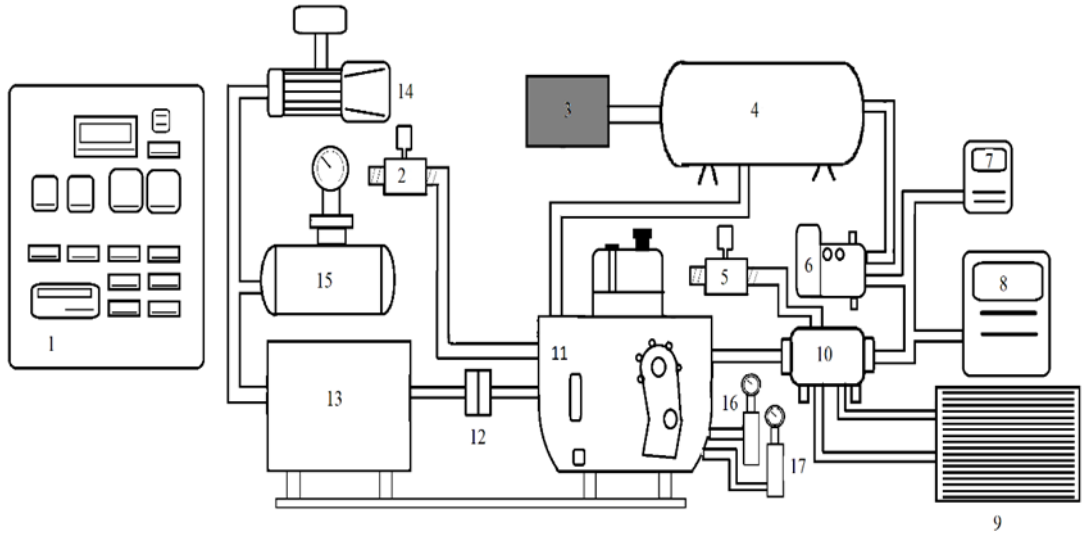
1. Deney prosesi için uygun ve eşit bir sistem tanımlaması yapılır.
2. Kontrol hacmi oluşturularak, sisteme giren ve çıkan kütleler ile ısı ve iş akımları tespit edilir.
3. Kontrol hacmi referans alınarak termodinamiğin 1. ve 2. kanununa göre enerji ve ekserji denklemleri kurulur.
4. Bir referans seçimi yapılır, seçilen referans değerleri ile ölçülen diğer ekserji değerlerinin kıyası yapılır.
5. Elde edilen ekserji değerlerine göre öneriler sunulur.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Deney düzeneği

Motora enerji ve ekserji analizi uygulanabilmesi için gerekli veriler deneyler neticesinde elde edilmiştir.

Deneylerde dizel motoru kullanılmıştır. Motor, hidrolik dinamometre ile yüklenerek yük değeri kg olarak elde edilmiştir. Motor soğutma suyu ve eşanjör soğutma suyu debileri türbin debimetreler aracılığıyla l/d olarak ölçülmüştür. Motor ve eşanjör soğutma sularının giriş ve çıkış sıcaklıkları (°C), egzoz gazlarının giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklıklar (°C), çevre havasının sıcaklığı (°C), yağ sıcaklığı (°C), emme manifoldu sıcaklığı (°C), motor dış yüzey sıcaklığı (°C) uygun yerlere konumlandırılmış termokupllar yardımı ile ölçülmüştür. Yakıt tüketimini ölçmek için ölçekli kap ve kronometre kullanılmıştır, yakıt debisi (g/s) 25 cm³'lük yakıt ölçüm ünitesinden kronometre ile geçiş süresi tayin edilerek hesaplanmıştır. Emisyon ölçüm cihazı kullanılarak, egzoz emisyon değeri ölçülmüştür. Motora aşırı doldurma, hava tankı ve hidrofor yardımı ile uygulanmıştır. Hava akış ölçüm cihazı ile hava debisi ölçülmüştür. Deney düzeneğinden alınan veriler kontrol ünitesi aracılığı ile okunmuştur. Deney düzeneğinin şematik çizimi Şekil 4.1.'de verilmiştir.



1 : Kontrol ünitesi, 2 : Debimetre (Motor Soğutma Suyu İçin), 3 : Hava akış ölçüm cihazı, 4 : Hava tankı, 5 : Debimetre (Eşanjör Soğutma Suyu İçin), 6 : EGR eşanjör, 7 : Bulanıklık emisyon cihazı, 8 : Motor gaz değerleri emisyon cihazı, 9 : Radyatör, 10 : Eşanjör, 11 : Motor, 12 : Kavrama, 13 : Hidrolik dinamometre, 14 : Hidrofor, 15 : Su tankı, 16 : Motor soğutma suyu şartlandırıcı, 17 : Yağ şartlandırıcı

Şekil 4.1. Enerji dağılımlarının tespiti için kurulmuş deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Deney düzeneğinde kullanılan cihazların özellikleri ve ölçüm hassasiyetleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanların ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri.

Ölçülen Parametreler	Birim	Ölçüm Aralığı	Ölçme Aleti	Ölçüm Hassasiyeti
Motor Devri	d/d	0-9999	Dijital Takometre	1 d/d
Egzoz Sıcaklığı	° C	0-1000	Ni-Cr-Ni	1 °C
Soğutma Suyu Giriş-Çıkış ve Ortam Sıcaklığı	° C	0-999	Fe-Konst.	1 °C
Yakıt Tüketim Zamanı	s	-	Kronometre	0,001 s
Fren Terazisi Kuvveti, S Tipi Yük Hücresi	Kg	0-100	Hidrolik Dinamometre, Yük Hücresi	0,1 Kg
Hava Tüketim Miktarı	mmSS	0-100	Eğik Manometre	1 mm
Motor Soğutma Suyu Debisi	l/d	3-20	Türbin Debimetre	%1
Eşanjör Soğutma Suyu Debisi	l/d	10-100	Türbin Debimetre	%1

4.1.1. Deney motoru

Deneyler tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, krank açısı değiştirilebilen, su soğutmalı Süper Star marka deney motorunda gerçekleştirilmiştir. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deneyleerde kullanılan motor özellikleri.

Marka	Süper Star
Piston Çapı (mm)	108
Strok (mm)	100
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi (dm ³)	0,92
Güç, 1500 d/d (kW)	10
Enjektör Açma Basıncı (bar)	225
Püskürtme Avansı (KMA)	29
Sıkıştırma Oranı	17:1
Maksimum Devir (d/d)	2500
Soğutma Tipi	Su
Motor Tipi	Dört Zamanlı, Direkt Enj.

Deneyleerin ilk aşamasında optimum krank mili açısının belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmış, motor performans açısından en uygun krank mili açısının üst ölü noktadan önce 29° krank mili açısı olduğu belirlenmiştir.

4.1.2. Yakıt ölçüm ünitesi

Deneyleerde yakıt sarfiyatının ölçülmesi için hacimsel ölçüm metodu kullanılmıştır. Motor tarafından 25 cm³ yakıtın kaç saniyede tüketildiği kronometre aracılığı ile ölçülüp, yakıtın kütleli debisi 5 nolu bölümde anlatıldığı gibi hesaplanmıştır. Şekil 4.2.'de yakıt ölçüm ünitesi verilmiştir.



Şekil 4.2. Yakıt ölçüm ünitesi.

4.1.3. Hidrolik dinamometre

Efektif gücün ölçülebilmesi için, deney motoru Şekil 4.3.'de gösterildiği gibi hidrolik dinamometreye kavrama aracılığıyla bağlanmıştır. Dinamometre kuvvet kolunda, motor yükünün ölçülebilmesi amacıyla 0,1 kg hassasiyetinde "S" tipi yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinin özellikleri Tablo 4.3.'te verilmiştir. Yük değeri dinamometre yardımı ile kg biriminden ölçülmüştür.

Tablo 4.3. S tipi yük hücresi teknik özellikleri.

Frenleme Şekli	Hidrolik
Marka	ESİT
Model	STCS 200 kg C3
Seri	4901
Çıkış	2.0 mV/V

4.1.4. Sıcaklık ölçüm termokuplları

Sistemde egzoz gazı eşanjör giriş-çıkış sıcaklıkları, eşanjör su giriş-çıkış sıcaklıkları, motor soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları, emme manifoldu sıcaklığı, yağ sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve motor dış yüzey sıcaklığı uygun yerlere konumlandırılmış termokupllar ile °C olarak ölçülmüştür.

4.1.5. Motor soğutma suyu ve eşanjör soğutma suyu debimetreleri

Motor soğutma suyu ve eşanjör soğutma suyu debileri %1 hassasiyet ile 3-20 l/d ve 10-100 l/d aralıklarında ölçüm yapabilen türbin debimetreler Şekil 4.3.'te gösterildiği gibi motor deney düzeneğine bağlanmış ve debi değerleri l/d olarak kontrol ünitesi aracılığı ile okunmuştur.



Şekil 4.3. Deney düzeneği debimetreleri.

4.1.6. Egzoz gaz emisyon ve egzoz gaz duman koyuluğu ölçüm cihazları

Egzoz emisyonları BOSCH-BEA 055/060 model egzoz gaz ölçüm cihazı ve egzoz gazlarının duman koyuluğu ise BOSCH-BEA 070 model duman koyuluğu ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Egzoz gaz ölçüm cihazı, emisyonların egzoz gazının hacimsel debisine oranını % cinsinden ölçebilmektedir. Egzoz gaz emisyonları, ileriki bölümlerde egzoz gazının belirli bileşenlerini hacimsel olarak belirlemede kullanılacaktır. Tablo 4.4.'te egzoz gaz ölçüm cihazının ölçtüğü bileşenler, ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Egzoz gaz ölçüm cihazı aralık ve hassasiyeti.

Ölçüm	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
CO (% Hacimce)	% (0-10)	%0,001
CO ₂ (% Hacimce)	% (0-18)	%0.01
HC (ppm)	0-9999	±1 ppm
O ₂ (% Hacimce)	% (0-22)	%0.01
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	0.5-9.9999	0.01
İs (% Hacimce)	0-100	%1
NO (ppm)	0-5000	Ölçülen Değerin %5'i

4.1.7. Kontrol ünitesi ve egzoz gaz emisyonu ölçüm ekranı

Motor devri (d/d), yük (kg), Δt (Yakıt) ($25\text{cm}^3/\text{s}$), Δt (Hava) (g/s), egzoz gazı giriş-çıkış sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$), eşanjör su giriş-çıkış sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$), motor soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$), emme manifoldu, yağ, ortam ve motor dış yüzey sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$) değerleri ölçülüp kontrol ünitesi aracılığı ile okunmuştur.

4.1.8. Hava kütleli debi ölçer ve bağıl nem ölçer

Şekil 4.4.'te hava kütleli debi (g/s) ölçer, bağıl nem (%) ölçer, yakıt deposu görülmektedir.



Şekil 4.4. Hava kütleli debi ölçer, bağıl nem ölçer, yakıt deposu.

4.2. Deneysel yakıtları

Motor deneylerinin ikinci basamağında; bu tez çalışması sırasında kullanılan biyodizel, %20 yağ oranına sahip olan pamuk bitkisinden imal edilmiştir. Ham

pamuk yağından elde edilen biyodizel yakıtı, transesterifikasyon yöntemi ile imal edilmiştir. Transesterifikasyon yöntemi; bitkisel yağların, petro-dizel yakıtı alternatif olarak uyarlanması en çok tercih edilen kimyasal metottür. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül kütleli alkolle bir katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Bu tepkime neticesinde biyodizel oluşmaktadır (Kaya, 2007). Bu çalışma sırasında transesterifikasyon sürecinde hammadde olarak pamuk bitkisinden, katalizör olarak potasyum hidroksitten faydalanılmıştır. Transesterifikasyon süreci sonunda, pamuk yağı metil esterleri ve gliserin elde edilmiştir.

Motorda yakıt olarak saf dizel (standart) ve pamuk yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen pamuk yağı metil esteri kullanılmıştır. Belirtilen pamuk yağı metil esteri dizel yakıtı %10, %20 ve %50 oranlarında karıştırılarak, deneyler %100 dizel (B0), %90 dizel + %10 biyodizel (B10), %80 dizel + %20 biyodizel (B20), %50 dizel + %50 biyodizel (B50) şeklinde hazırlanan 4 yakıt ile ayrı ayrı yapılmıştır.

Yapılan deneyler sırasında kullanılan petrol kökenli euro-dizel yakıtı ve pamuk yağı metil esterinin bazı temel özellikleri Tablo 4.5.'te verilmiştir (Tüpraş, 2004; Örnek, 2007; Bayındırlı, 2008; Demir, 2009; Er, 2009; Güven, 2010; Reşitoğlu, 2010; Arslan ve Alibaş, 2015; Çelik, 2015; Keskin, 2018).

Tablo 4.5. Deneyler sırasında kullanılan yakıtların bazı temel özellikleri.

Özellikler	Eurodizel Yakıtı	Pamuk Yağı Metil Esteri	B10	B20	B50	Biyo dizel Std. TS EN14214	Euro dizel Std. TS EN590
Kimyasal Denklem	$C_{14}H_{25}$	$C_{18}H_{234}O_2$	$C_{14,4}H_{25,9}O_{0,2}$	$C_{14,8}H_{26,8}O_{0,4}$	$C_{16}H_{29,5}O_1$	-	-
Yoğunluk (kg/m^3) (15 °C)	829	885	835	841	857	860-900	820-845
Kinematik Viskozite (mm^2/s) (40 °C)	2,4	4,65	2,89	3,1	3,6	3,5-5	2-4,5
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	42705	38995	42257	41780	40419	-	-
Alevlenme Noktası (°C)	59	95	66	70	77	120	55 <
Setan Sayısı	57	53,6	56,6	56,32	55,3	51	51 <

4.3. Enerji ve ekserji analizleri için yapılan kabuller

Deney motorunda yapılacak olan enerji ve ekserji analizinde direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru açık sistem olarak ele alınmış ve matematiksel bir model oluşturulmuştur. Motorda enerji ve ekserji dengesi oluşturulmadan önce yapılan kabuller sırası ile;

1. Kimyasal yanma tepkimesine giren bütün bileşenlerin ideal gaz olduğu,
2. Bütün yanma ürünlerinin kimyasal bir dengede olduğu,
3. Tersinmezliklerin hesaplanabilmesi için sistemin adyabatik bir sistem olduğudur.

4.3.1. Termodinamiğin birinci kanunu

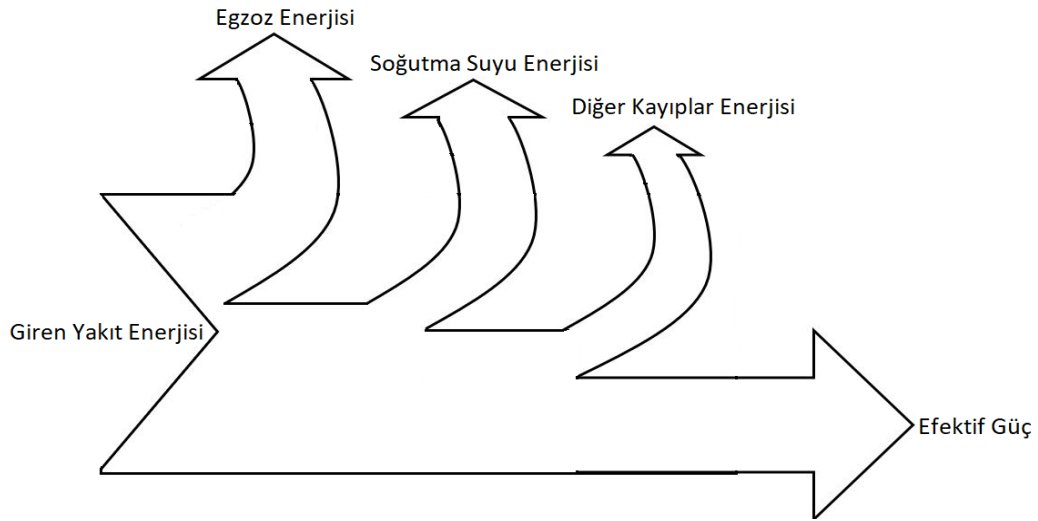
Termodinamiğin birinci kanunu aşağıdaki gibi gösterilebilir (Çengel ve Boles, 2006).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sisteme Giren} \\ \text{Toplam Enerji} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Sistemden Çıkan} \\ \text{Toplam Enerji} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Sistemin Toplam} \\ \text{Enerjisindeki Değişim} \end{array} \right\}$$

Başka bir ifade ile enerjinin korunumu ilkesi, denklem 4.1 ile ifade edilmektedir.

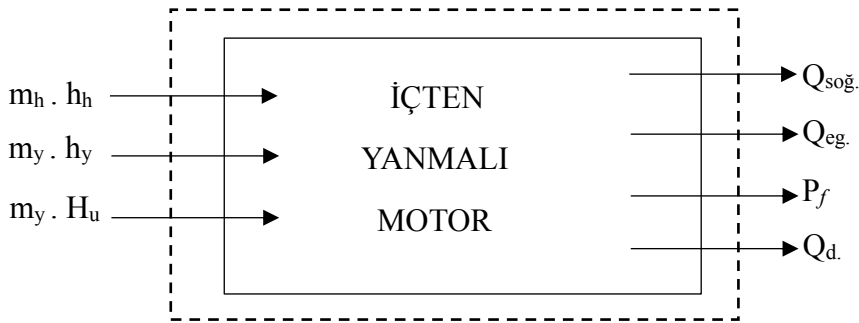
$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (4.1)$$

Şekil 4.5.'te Sankey (enerji) diyagramı ile gösterildiği gibi, içten yanmalı motorlarda yakıtın yanması ile meydana gelen enerjinin bir kısmı çeşitli kayıplar nedeniyle azaldığından yakıt enerjisinin tamamı işe dönüştürülemez (Çengel ve Boles, 2006).



Şekil 4.5. Enerji akış diyagramı.

İçten yanmalı motorlar; yakıtın kimyasal enerjisini yanma işlemi ile birlikte ısı enerjisine dönüştüren, böylece silindir içinde sıcaklık ve basınçları yükselen yanma gazlarının piston hareketine neden olmasıyla ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Bu dönüşüm sırasında bazı kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıplar; egzoz, sürtünme, radyasyon yoluyla olabilmektedir. Bu kayıplar nedeniyle yakıtın yanması ile meydana gelen yakıt enerjisinin bir kısmı işe dönüştürülememektedir.



Şekil 4.6. İçten yanmalı bir dizel motor için kontrol hacminin şematik gösterimi.

Şekil 4.6.'da deney motoru termodinamik bir açık sistem (kontrol hacmi) olarak görülmektedir. Kontrol hacminden yararlanarak sisteme giren ve çıkan kütleler için enerji dengesi yazılırsa;

$$(\dot{m}_y \cdot h_y) + (\dot{m}_h \cdot h_h) + (\dot{m}_y \cdot H_u) = P_f + \dot{Q}_{soğ.} + \dot{Q}_{eg.} + \dot{Q}_d. \quad (4.2)$$

denkliği elde edilir.

Burada; P_f motordan alınan faydalı (efektif) güç, $\dot{Q}_{soğ.}$ soğutucu akışkana birim zamanda transfer edilen enerji miktarı, $\dot{Q}_{eg.}$ egzoz ile atılan birim zamandaki enerji miktarı, \dot{Q}_d çeşitli kayıplar dolayısıyla birim zamanda harcanan enerjiyi ifade etmektedir. Bunlar arasında eksik yanma kayıpları, motor bloğundan olan ışınlım ve taşınım ile olan ısı transferleri sayılabilir. Motora giren hava ve yakıt debileri sırasıyla, \dot{m}_h (kg/s) ve \dot{m}_y (kg/s)'dir. H_u (kJ/kg) yakıtın alt ısıl değeridir.

Enerji dengesinde geçen h_y (kJ/kmol) ve h_h (kJ/kmol) sırası ile yakıtın ve havanın entalpi değerleridir. Motorda yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji yakıtın kimyasal enerjisidir. Yakıt ve havanın kimyasal enerjisi, egzozun enerjisinin yanında çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu durumda, 4.2 nolu enerji dengesi denklemi yeniden düzenlenirse;

$$\dot{Q}_y = P_f + \dot{Q}_{soğ.} + \dot{Q}_{eg.} + \dot{Q}_d. \quad (4.3)$$

termodinamiğin birinci kanunu gereğince enerji korunum denklemi elde edilir.

4.3.2. Motora enerji analizinin uygulanması

Deney motoruna enerji analizi uygulanabilmesi için denklem 4.3'te ifade edilen bütün değerlerin hesaplanması gerekmektedir. Termodinamiğin birinci kanununa göre yakıttan elde edilen enerji değeri; efektif güce, egzoz ile birim zamanda atılan enerjiye, soğutucu akışkana birim zamanda geçen enerjiye, kayıp enerjiye dönüşmektedir.

4.3.2.1. Birim zamanda silindire giren yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yakıt}$)

Kontrol hacmindeki enerji girişinin yalnızca yakıtın kimyasal enerjisi ile oluştuğu varsayımı ile;

$$\dot{Q}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} \cdot H_u \quad (4.4)$$

bağıntısı yazılarak, yakıtın yanması sonucu meydana gelen yakıt enerji değeri hesaplanmıştır.

Bu bağıntıda;

$\dot{m}_{yakıt}$: yakıtın kütleli debisini (kg/s), H_u : ise yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg) temsil etmektedir. Yakıtın alt ısı değerinin kullanılmasının sebebi yanma sonundaki sıcaklık değerinin çok fazla oluşundan dolayı, yanma sonucunda suyun buhar fazında olmasıdır.

4.3.2.2. Efektif güç (Pf)

Efektif güç, hidrolik dinamometre (su freni sistemi) kullanılarak elde edilen verilerden yola çıkarak şu şekilde hesaplanmıştır (Ünver ve ark., 2002);

$$P_f = M_d \cdot \omega = F \cdot l \cdot \omega = F \cdot l \cdot 2\pi n / 60 \quad (4.5)$$

Bu bağıntıda;

M_d (Nm) motor döndürme momenti, n (d/d) motor devri, F (N) dinamometrede okunan su freni yük değeri, l (m) kol uzunluğudur.

4.3.2.3. Birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{Q}_{soğ.}$)

Deneyle sırasında soğutucu akışkan olarak su kullanılmıştır. Soğutucu akışkana verilen birim zamandaki enerji 4.6 bağıntısı ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_{soğ.} = \dot{m}_{ms} \times C_{p,s} \times (T_{ms,\zeta} - T_{ms,g}) \quad (4.6)$$

Burada;

\dot{m}_{ms} : Motor soğutma suyu kütleli debisi (kg/s), $c_{p,s}$: Motor soğutma suyu özgül ısı (kJ/kg.°C), $T_{ms,\zeta}$: Motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı (°C) ve $T_{ms,g}$: Motor soğutma suyu giriş sıcaklığıdır (°C).

4.3.2.4. Birim zamanda egzoz ile atılan enerji ($\dot{Q}_{eg.}$)

Egzoz ısı, motor çıkışından çevreye kadar olan ısı kayıpları dikkate alındığında 4.7 bağıntısı ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{Q}_{eg.} = \underbrace{\dot{m}_g \cdot c_{p,g} \cdot (t_{em,\zeta} - t_{eg,g})}_a + \underbrace{\dot{m}_g \cdot c_{p,g} \cdot (t_{eg,g} - t_{eg,\zeta})}_b + \underbrace{\dot{m}_g \cdot c_{p,g} \cdot (t_{eg,\zeta} - t_0)}_c \quad (4.7)$$

Burada;

a: Egzoz manifoldu – eşanjör arasındaki ısı kaybı

b: Eşanjörden egzoz gazı soğutma suyuna geçen ısı

c: Eşanjörün çıkışındaki gazın, çevreye atılan ısını temsil etmektedir.

Eşanjördeki ısı kayıpları ihmal edilerek enerji dengesi yazıldığında;

$$\dot{m}_g \cdot c_{p,g} \cdot (T_{eg,g} - T_{eg,\zeta}) = \dot{m}_{es} \cdot c_{p,s} \cdot (T_{es,\zeta} - T_{es,g}) \quad (4.8)$$

denkliği elde edilip, düzenlenirse;

$$\dot{m}_g \cdot c_{p,g} = \dot{m}_{es} \cdot c_{p,s} \cdot \left[\frac{(T_{es,\zeta} - T_{es,g})}{(T_{eg,g} - T_{eg,\zeta})} \right] \quad (4.9)$$

bağıntısı yazılarak, 4.7 denkliğinde yerine konursa;

$$\dot{Q}_{eg.} = \frac{\dot{m}_{es} \cdot c_{p,s} \cdot (T_{es,\zeta} - T_{es,g})}{(T_{eg,g} - T_{eg,\zeta})} \cdot (T_{em,\zeta} - T_0) \quad (4.10)$$

bağıntısı elde edilir.

Bu bağıntıda;

\dot{m}_{es} : Eşanjör soğutma suyu debisi (kg/s), $c_{p,s}$: Eşanjör soğutma suyu özgül ısı (kJ/kg.°C), $T_{es,g}$: Eşanjör soğutma suyunun eşanjöre giriş sıcaklığı (°C), $T_{es,\zeta}$: Eşanjör soğutma suyunun eşanjörden çıkış sıcaklığı (°C), $T_{em,\zeta}$: Egzoz manifoldu çıkışındaki egzoz gazının sıcaklığı (°C), $T_{eg,g}$: Egzoz gazının eşanjöre giriş sıcaklığı (°C), $T_{eg,\zeta}$: Egzoz gazının eşanjörden çıkış sıcaklığı (°C), T_0 : Çevre hava sıcaklığı (°C)'dir.

4.3.2.5. Diğer kayıplar (\dot{Q}_d)

Silindir içerisine giren yakıtın ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşürken, bazı kayıplar meydana gelmektedir. Oluşan bu kayıplar, ısı transferi ve yağlama gibi sistemden çevreye ısı geçişi yolu ile olmaktadır. Enerjinin korunumu ilkesi ile yakıttan elde edilen enerji değerinden faydalı (efektif) güç, motor soğutma suyu enerjisi, egzoz enerjisi ve sürtünme gücü enerjisi değerleri çıkarılarak 4.11 bağıntısı ile kayıpların ifadesi olan \dot{Q}_d hesaplanır.

$$\dot{Q}_d = \dot{Q}_{yakıt} - (P_f + \dot{Q}_{soğ.} + \dot{Q}_{eg.}) \quad (4.11)$$

4.3.2.6. Efektif verim (η)

Yakıttan elde edilen yakıt enerjisinin ($\dot{Q}_{yakıt}$) motorda güce (P_f) çevrilen kısmının ifadesi olan efektif verim 4.12 bağıntısı ile verilebilir.

$$\eta = \frac{P_f}{\dot{Q}_{yakıt}} \quad (4.12)$$

4.3.2.7. Özgül yakıt tüketimi, ÖYT

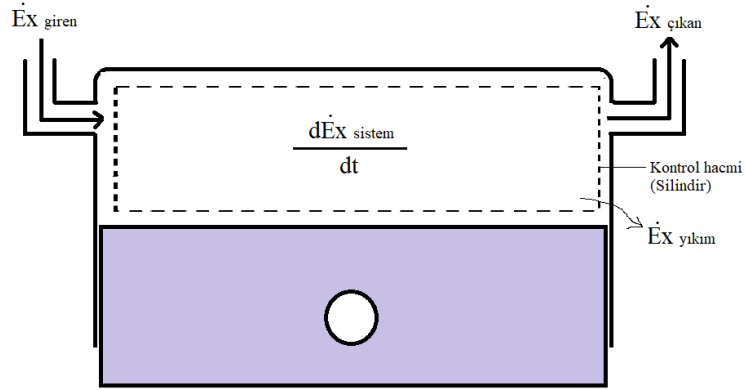
Özgül yakıt tüketimi, birim efektif güç başına tüketilen yakıtın kütleli debisi olarak ifade edilmektedir, yüke ve devir sayısına bağlı olarak değişmektedir.

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{P_f} \quad (4.13)$$

4.3.3. Termodinamiğin ikinci kanunu

Ekserji dengesi ya da termodinamiğin ikinci kanunu ilkesi; bir hal değişimi esnasında sistemin ekserji değişimi, sistemin sınırlarından olan net ekserji geçişi ile tersinmezliklerin sonucu olarak sistemin sınırları içindeki ekserji yok oluşu arasındaki farktır (Çengel ve Boles, 2006).

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{Toplam} \\ \text{Ekserji} \\ \text{Girişi} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{Toplam} \\ \text{Ekserji} \\ \text{Çıkışı} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{Toplam} \\ \text{Ekserji} \\ \text{Yok Oluşu} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{Sistemin Toplam} \\ \text{Ekserjisindeki} \\ \text{Değişim} \end{array} \right\}$$

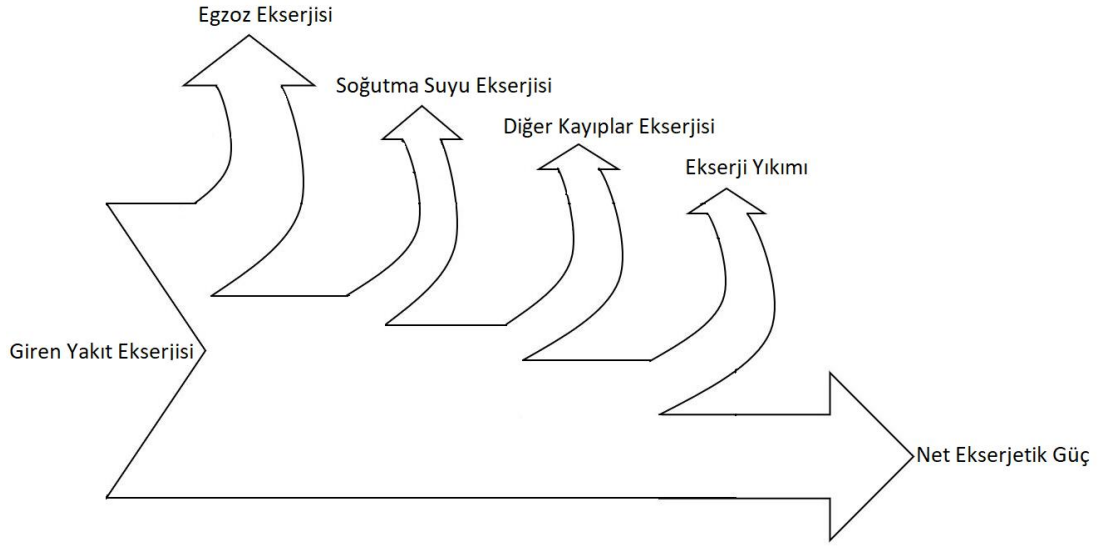


Şekil 4.7. Motor silindirindeki ekserji dengesi.

Termodinamiğin ikinci kanunu ilkesi, Şekil 4.7. referans alınarak denklem 4.14 ile ifade edilmektedir.

$$Ex_{giren} - Ex_{çıkan} - Ex_{kayıp} = \Delta Ex_{sistem} \quad (4.14)$$

Şekil 4.8.'de ekserji akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.8. Ekserji akış diyagramı.

Deney motoru için ekserji dengesi şu şekildedir;

$$\dot{E}x_{yakıt} - \dot{E}x_{N_e} - \dot{E}x_{eg.} - \dot{E}x_{soğ.} - \dot{E}x_{Q_d.} - \dot{E}x_{kayıp} = 0 \quad (4.15)$$

4.3.4. Motora ekserji analizinin uygulanması

Deney motoruna ekserji analizi uygulanabilmesi için denklem 4.15'te ifade edilen bütün değerlerin hesaplanması gerekmektedir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre yakıttan elde edilen ekserji değeri; net ekserjetik güce, egzoz ile atılan ekserjiye, soğutucu akışkana geçen ekserjiye, yok olan ekserjiye, çeşitli nedenlerle oluşan ekserji kaybına dönüşmektedir.

4.3.4.1. Birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisi ($\dot{E}x_{yakıt}$)

Sisteme giriş ekserjisinin yakıtın ekserjisinden oluştuğu kabulü ile;

$$\dot{E}x_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} \cdot \varepsilon_{yakıt} \quad (kW) \quad (4.16)$$

bağıntısı yazılarak, yakıtın yanması sonucu meydana gelen yakıt ekserji değeri hesaplanmıştır.

Bu bağıntıda;

$\dot{m}_{yakıt}$: yakıtın kütleli debisini (kg/s), $\varepsilon_{yakıt}$: ise özgül yakıt ekserjisi (kJ/kg) temsil etmektedir. Özgül yakıt ekserjisi şu şekilde hesaplanır;

$$\varepsilon_{yakıt} = \varphi \cdot H_u \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (4.17)$$

Burada;

φ nem içermeyen sıvı yakıtların kimyasal ekserji faktörü olup, yakıttaki hidrojen (h), oksijen (o), sülfür (s) kütleli olarak oranları kullanılarak denklem 4.18 ile hesap edilir.

$$\varphi = 1,0401 + 0,1728 \frac{h}{c} + 0,0432 \frac{o}{c} + 0,2169 \frac{s}{c} (1 - 2,0628 \frac{h}{c}) \quad (4.18)$$

4.3.4.2. Net ekserjetik güç ($\dot{E}x_{Ne}$)

Net ekserjetik güç, motordan 4.5 bağıntısı ile elde edilen efektif güce eşittir.

$$\dot{E}x_{Ne} = P_f \quad (4.19)$$

Burada; P_f denklem 4.5 ile hesaplanan efektif güç değeridir.

4.3.4.3. Birim zamandaki soğutucu akışkana geçen ekserji ($\dot{E}x_{soğ.}$)

Soğutucu akışkana geçen ekserji, soğutucu akışkana birim zamanda verilen enerji ile çevre ve motor soğutma suyu giriş - çıkış sıcaklık ortalamaları yardımıyla şu şekilde hesaplanabilir;

$$\dot{E}x_{soğ.} = \dot{Q}_{soğ.} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{ort.}}\right) \quad (4.20)$$

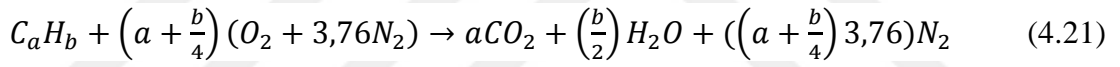
Burada;

$\dot{Q}_{soğ.}$ (kW): soğutucu akışkana birim zamanda verilen enerji, T_0 (K): çevre sıcaklığı, $T_{ort.}$ (K): motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamasıdır.

4.3.4.4. Birim zamandaki egzoz ile atılan ekserji ($\dot{E}x_{eg.}$)

a. Yanma denklemlerinin elde edilmesi:

Yanma havasının su buharı içermediği ve molar olarak %21 oksijen ile %79 azot içerdiği kabul edilmiştir. C_aH_b şeklindeki bir hidrokarbon için teorik yanma denklemi;



olarak yazılır. Yakıtın gerçek yanma denklemi ise, yanma denklemindeki yanma ürünlerinin emisyon ölçüm değerleri referans alınarak oluşturulur. Gerçek yanma denkleminin oluşturulmasında havanın içerisindeki N_2 gazının NO ve NO_x gazlarına dönüşmediği ve yanmamış hidrokarbon emisyon değerlerinin küçük olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle, yanma denkleminde HC'a yer verilmemiştir.

Yanma denklemlerinin denkleştirilmesi sırasında;

CO ve CO_2 egzoz emisyon ölçüm değerleri, % biriminden g/kWh birimine aşağıdaki çarpanlar ile dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme esnasında; Pilusa ve ark., (2012)'nin çalışmalarında kullandıkları CO ve CO_2 için sırasıyla 35,91 ve 63,47 katsayıları kullanılmıştır.

$$CO \rightarrow \% \text{ emisyon} \cdot 35,91 = g/kWh \quad (4.22)$$

$$CO_2 \rightarrow \% \text{ emisyon} \cdot 63,47 = g/kWh \quad (4.23)$$

CO ve CO_2 'in molekül kütleleri sırasıyla 28 kg/kmol ve 44 kg/kmol olarak hesap edilmiştir.

CO ve CO_2 molekül kütleleri ve g/kWh biriminden egzoz emisyon değerleri kullanılarak CO ve CO_2 'in yanma denklemindeki mol sayıları denklem 4.24 ve 4.25 yardımı ile bulunmuştur.

$$CO \rightarrow \frac{\frac{g}{kWh} \text{ emisyon}}{28} = mol/kWh \quad (4.24)$$

$$CO_2 \rightarrow \frac{\frac{g}{kWh} \text{ emisyon}}{44} = mol/kWh \quad (4.25)$$

CO ve CO_2 için elde edilen mol sayıları yanma denkleminde yerlerine konularak yakıtın kütlesi elde edilmiştir.

Elde edilen yakıt külesinden hareketle, hava/yakıt oranı ile havanın kütlesi denklem 4.26 yardımıyla bulunmuştur.

$$m_{hava} = (H/Y) \cdot (m_{yakıt}) \quad (4.26)$$

Burada;

(H/Y) : hava yakıt oranı, $m_{yakıt}$ (kg): yakıtın kütlesidir.

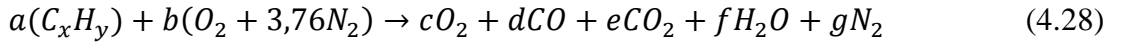
Hesap edilen havanın külesinden yola çıkarak havanın mol sayısı hesaplanmıştır:

$$(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow \frac{m_{hava}}{(3,76) \cdot (28 \text{ kg/kmol})} \quad (4.27)$$

Burada;

m_{hava} (kg): havanın kütlesidir.

Ardından yanma denklemi her bir ürün için denkleştirilerek gerçek yanma denklemi son halini almıştır.



b. Yanma ürünlerinin gerçek kütlelerinin bulunması:

Yanma denklemindeki her bir ürünün mol sayısı, egzoz emisyon ölçüm sonuçları ile hesaplanabilir. Bulunan bu mol sayıları ile gerçek yanma denklemi denkleştirilmesi yapılır.

x_i kütleli kesir kavramı yanma ürünlerinin, yakıtın toplam kütlesi içindeki oranını ifade etmektedir ve denklem 4.29 ile hesaplanabilir:

$$x_i = \frac{m_i}{m_{top.}} \quad (4.29)$$

Burada;

m_i , her bir yanma ürününün mol sayısının, yanma ürününün mol kütlesi ile çarpımı sonucu elde edilir. $m_{top.}$ ise her bir yanma ürününün m_i değerlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir.

$$x_i = \frac{\dot{m}_i}{\dot{m}_{top.}} \quad (4.30)$$

Motora termodinamiğin birinci kanunu gereğince enerjinin korunumu ilkesi uygulaması sırasında egzodan çıkan gazın %2 kayıpla çıktığı varsayılmaktadır. Motor deneylerinden elde edilen havanın ve yakıtın kütleli debileri (kg/s)

kullanılarak egzoz gazının kütleli debisi denklem 4.31 ile, her bir yanma ürününün debisi ise denklem 4.32 ile hesaplanabilir:

$$\dot{m}_{eg.} = (\dot{m}_y + \dot{m}_h)(0,98) \quad (4.31)$$

$$\dot{m}_i = x_i \cdot \dot{m}_{top.} = x_i \dot{m}_{eg.} \quad (4.32)$$

c. Yanma ürünlerinin termomekaniksel ekserji değerlerinin bulunması:

Denklem 3.9 ile ifade edilen termomekaniksel ekserji değeri, deneyler esnasında ölçümü yapılan her bir devir ve her bir yakıt türündeki egzoz sıcaklık (K) değerleri ve çevre sıcaklık (K) değerlerine göre termodinamik özellik tablolarından okunan entalpi ve entropi değerleri ile çevre sıcaklığı (K) yardımıyla hesaplanabilir.

d. Yanma ürünlerinin kimyasal ekserji değerlerinin bulunması:

Denklem 3.10 ile ifade edilen kimyasal ekserji değeri; \bar{R} evrensel gaz sabiti, T_0 çevre sıcaklığı (K), y^e referans çevredeki bileşenin mol kesri yardımıyla hesaplanabilir. Kimyasal ekserjinin hesaplanması esnasında referans çevrenin molar olarak farklı karışımlarda ideal gaz karışımlarından meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu gaz kompozisyonları ve referans çevredeki mol kesirleri Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Çevrenin tanımı (Moran ve Shapiro, 2000).

Referans Bileşen	Mol Kesri (%)
N ₂	75,6700
O ₂	20,3500
CO ₂	0,03450
H ₂ O	3,03000
CO	0,00070
SO ₂	0,00020
H ₂	0,00005
Diğer	0,91455

e. Yanma ürünlerinin toplam ekserjileri:

Denklem 3.9 ile ifade edilen toplam ekserji değeri, her bir yanma ürününün termomekaniksel ve kimyasal ekserji değerlerinin toplamı ile hesap edilebilir.

f. Egzoz ekserjisi:

Egzoz ekserjisi, kimyasal yanma ürünlerinin her birinin toplam ekserjisi, mol kütleleri ve denklem 4.32 ile ifade edilen kütleli debileri yardımıyla 4.33 denklemi ile aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{E}x_{eg} = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{m}_i}{\mu_i} \{[(h - h_0) - T_0 (s - s_0)] + [\bar{R}T_0 \ln y^e]\} \quad (4.33)$$

Burada;

\dot{m}_i i. yanma ürününün kütleli debisi (kg/s), \bar{h} (kJ/kmol) ve \bar{s} (kJ/kmol.K) i. yanma ürününün T (K) egzoz sıcaklığındaki özgül entalpisi ve özgül entropisi, \bar{h}_0 (kJ/kmol) ve \bar{s}_0 (kJ/kmol.K) i. yanma ürününün T_0 (K) çevre sıcaklığındaki özgül entalpisi ve özgül entropisi, μ_i (kg/kmol) i. yanma ürününün mol kütlesi, \bar{R} (=8,314 kJ/kmol.K) üniversal gaz sabiti olup, y^e referans çevredeki bileşenin mol kesridir.

4.3.4.5. Diğer kayıplar ekserjisi ($\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$)

Diğer kayıplar ekserjisi, kayıp enerji değerlerinin toplamı ile çevre ve motor bloğu sıcaklığı yardımıyla şu şekilde hesaplanabilir:

$$\dot{E}x_{\dot{Q}_d} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{mot.}}\right) \cdot \dot{Q}_d \quad (4.34)$$

Burada;

T_0 (K): çevre sıcaklığı, $T_{mot.}$ (K): motor deneyleri esnasında ölçülen motor bloğu ortalama yüzey sıcaklığı, \dot{Q}_d (kW): birim zamanda kaybedilen ısı enerjisi değeridir.

4.3.4.6. Birim zamandaki yok olan ekserji değeri ($\dot{E}x_{kayıp}$)

Yok olan ekserji, ekserji kaybı anlamına gelmektedir. Motordaki birim zamanda meydana gelen ekserji kaybı motor ekserji denklemi 4.15 düzenlenerek hesaplanabilir.

Yararlı işe dönüştürülemeyen iş potansiyeli, yok olan ekserjiyi ifade etmektedir.

$$\dot{E}x_{kayıp} = \dot{E}x_{yakıt} - \dot{E}x_{N_e} - \dot{E}x_{soğ.} - \dot{E}x_{eg.} - \dot{E}x_{\dot{Q}_d} \quad (4.35)$$

Burada;

$\dot{E}x_{yakıt}$ (kW): birim zamandaki silindire giren yakıt ekserjisi, $\dot{E}x_{N_e}$ (kW) net ekserjetik güç, $\dot{E}x_{eg.}$ (kW): birim zamandaki egzoz ekserjisi, $\dot{E}x_{soğ.}$ (kW): birim zamandaki soğutma suyu ekserjisi, $\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$ (kW): ısı kayıpları ekserjisidir.

4.3.4.7. Ekserjetik verim (η_u)

Ekserjetik verim, termodinamiğin ikinci kanun verimliliği ya da kullanım verimliliği olarak ifade edilmektedir (Durmuş, 2006).

Ekserjetik verim, kullanılabilir enerji ifadesinden faydalanarak işlemin ne derece iyi ve mükemmel yakın olduğunun tespit edilmesini sağlar. Buna göre, ekserjetik verim denklem 4.36 ile şu şekilde hesaplanabilir (Çakmak ve Bilgin, 2017):

$$\eta_u = \frac{\dot{E}x_{N_e}}{\dot{E}x_{yakıt}} \quad (4.36)$$

Burada;

$\dot{E}x_{N_e}$ (kW): net ekserjetik güç, $\dot{E}x_{yakıt}$ (kW): birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisidir.

4.3.4.8. Birim ekserji maliyeti (C)

Termodinamiğin ikinci kanunu gereğince daha ayrıntılı bir analiz için, motorun birim ekserji maliyet hesabı yapılmıştır. Birim ekserji maliyeti, motor içerisine birim zamanda gönderilen yakıt ekserjisinin net ekserjetik güce oranı olarak ifade edilmektedir. Denklem 4.37 ile şu şekilde hesaplanabilir (López ve ark., 2014):

$$C = \frac{\dot{E}x_{yakıt}}{\dot{E}x_{Ne}} \quad (4.37)$$

Burada; $\dot{E}x_{Ne}$ (kW) ekserjetik güç ekserjisi, $\dot{E}x_{yakıt}$ (kW) birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisidir.

Birim ekserji maliyeti başka bir anlatımla; ekserjetik verimin tersidir.

4.4. Belirsizlik Analizi

Yapılan deneysel çalışmalar net sonuçlara ulaşılması bakımından teorik çalışmalara kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Ancak, deneyler esnasında dikkatli davranılsa da elde edilen deney sonuçlarında bazı hatalara rastlanabilir. Söz konusu deneysel hataları dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hatalar, sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalar, rastgele hatalar olarak üç grupta toplamak mümkündür (Sadikhov ve ark., 1995).

Neticelerin hassasiyeti hakkında yöntemsel bir yaklaşım sunan belirsizlik analizi uygulamalarında olası hatalar için bir aralık belirlenmektedir. Belirsizlik analizinin diğer analizlere göre belirgin bir üstünlüğü, burada en büyük hataya neden olan değişkenin hemen tespit edilebilmesidir. Bu yöntemde n adet bağımsız değişkeni olan bir ölçümde, R ölçülecek boyut, $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ölçümü etkileyen faktörler, $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ bağımsız değişken ile ilgili hata oranı olmak üzere;

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.38)$$

veya,

$$\frac{w_R}{R} = \left[\left(\frac{w_{x_1}}{x_1} \right)^2 + 9 \left(\frac{w_{x_2}}{x_2} \right)^2 + 9 \left(\frac{w_{x_3}}{x_3} \right)^2 \dots + \left(\frac{w_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.39)$$

bağıntıları yazılabilir (Anonim, 2019e).

Denklem 4.39. ile hesaplanan büyüklüklerin belirsizlikleri Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Hesaplanan büyüklüklerin belirsizlikleri.

	Büyükük	Birim	Belirsizlik (%)
Hesaplanan Bazı	Efektif Güç, P _f	kW	0,79
Büyüküklerin	Efektif Verim, η	-	0,8
Belirsizlikleri	Ekserjetik Verim, η _{II}	-	0,78

Bu belirsizlik analizi değerleri, söz konusu büyüklüklerin ölçümlerinin yeterli hassaslıkta gerçekleştirildiğini ve hesap edilen büyüklüklerin güvenilirliğinin iyi olduğunu ifade etmektedir.

BÖLÜM 5. ÖRNEK UYGULAMA

Bu bölümde termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu gereğince, 4. bölümde anlatılan yöntemle göre motora enerji ve ekserji analizinin örnek uygulaması; B0 (STD) yakıtıyla, 1400 d/d için, tam yük şartlarında, motorun doğal emiş durumunda gerçekleştirilmiştir.

5.1. Enerji Analizi

5.1.1. Birim zamanda silindire giren yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yakıt}$)

B0 (STD) yakıtının, alt ısıl değeri (kJ/kg) ve 1400 d/d'daki kütleli debisi (kg/s) kullanılarak denklem 4.4 yardımıyla birim zamandaki yakıt enerjisi hesap edilebilir. B0 yakıtının alt ısıl değeri 10200 kcal/kg (42705,36 kJ/kg), 1400 d/d'da yakıtın kütleli debisi 0,000503 kg/s olmak üzere, birim zamandaki yakıt enerjisi;

$$\dot{Q}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} \cdot H_u \text{ ile,}$$

$$\dot{Q}_{yakıt} = 0,000503 \cdot 42705,36 = 21,47964 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.1.2. Efektif güç (P_f)

B0 (STD) yakıtının deneylerde ölçümü yapılan yük (kg), hidrolik dinamometre moment kolu uzunluğu (m), devir sayısından yol çıkararak hesaplanan açısal hızı kullanılarak denklem 4.5 yardımıyla efektif güç değeri hesap edilebilir. B0 yakıtının

1400 d/d'da yük değeri 12,26 kg (120,2706 N), hidrolik dinamometre kol uzunluğu 0,37 m, açısal hızı 146,5333 olmak üzere, efektif güç değeri;

$$P_f = M_d \cdot \omega = F \cdot l \cdot \omega = F \cdot l \cdot 2\pi n / 60 \text{ ile,}$$

$$P_f = 120,2706 \cdot 0,37 \cdot 146,5333 = 6,520751 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.1.3. Birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{Q}_{soğ.}$)

Motor deneylerinde kullanılan su soğutucu akışkanının 1400 d/d'da B0 (STD) yakıtı için motor soğutma suyu debisi (l/d), soğutucu akışkanın sabit basınçtaki özgül ısısı (kj/kg.°C), motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları (°C) kullanılarak denklem 4.6 yardımıyla birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji miktarı hesap edilebilir. B0 yakıtının 1400 d/d'da motor soğutma suyu debisi 9,3 l/d (0,1581 kg/s), sabit basınçtaki özgül ısısı 4,177 kj/kg.°C, motor soğutma suyunun motora giriş sıcaklığı 84,05 °C ve motor soğutma suyunun motordan çıkış sıcaklığı 92,05 °C olmak üzere, birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji miktarı;

$$\dot{Q}_{soğ.} = \dot{m}_{ms} \times C_{p,s} \times (T_{ms,\zeta} - T_{ms,g}) \text{ ile,}$$

$$\dot{Q}_{soğ.} = 0,1581 \times 4,177 \times (92,05 - 84,05) = 5,2830696 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.1.4. Birim zamanda egzoz ile atılan enerji ($\dot{Q}_{eg.}$)

B0 (STD) yakıtının deneyler sırasında ölçümü yapılan eşanjör soğutma suyu debisi (l/d), eşanjör soğutma suyunun sabit basınçtaki özgül ısısı (kj/kg.°C), eşanjör soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları (°C), egzoz gazının eşanjör giriş ve çıkış

sıcaklıkları (°C) ve çevrenin sıcaklığı (°C) kullanılarak denklem 4.10 yardımıyla birim zamanda egzoz ile atılan enerji miktarı hesap edilebilir. B0 yakıtının 1400 d/d'da eşanjör soğutma suyu debisi 17,3 l/d (0,2941 kg/s), eşanjör soğutma suyunun sabit basınçtaki özgül ısısı 4,177 kJ/kg.°C, eşanjör soğutma suyunun eşanjöre giriş sıcaklığı 33,05 °C, eşanjör soğutma suyunun eşanjörden çıkış sıcaklığı 34,85 °C, egzoz gazının eşanjör giriş sıcaklığı 343,5 °C, egzoz gazının eşanjör çıkış sıcaklığı 189,5 °C, çevre sıcaklığı 23,6 °C olmak üzere, birim zamandaki egzoz ile atılan enerji miktarı;

$$\dot{Q}_{eg.} = \frac{\dot{m}_{es} \cdot c_{p,s} \cdot (T_{es,\zeta} - T_{es,g})}{(T_{eg,g} - T_{eg,\zeta})} \cdot (T_{em,\zeta} - T_0) \text{ ile,}$$

$$\dot{Q}_{eg.} = \frac{0,2941 \cdot 4,177 \cdot (34,85 - 33,05)}{(343,5 - 189,5)} \cdot (189,5 - 23,6) = 2,382087 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.1.5. Diğer kayıplar (\dot{Q}_d)

B0 (STD) yakıtı 1400 d/d için elde edilen $\dot{Q}_{yakıt.}$ (kW), P_f (kW), $\dot{Q}_{soğ.}$ (kW), $\dot{Q}_{eg.}$ (kW) verileri denklem 4.11'de yerine yazılırsa, kayıp olan diğer enerji miktarı hesap edilebilir. $\dot{Q}_{yakıt.}$ 21,47964 kW, P_f 6,520751 kW, $\dot{Q}_{soğ.}$ 5,2830696 kW, $\dot{Q}_{eg.}$ 2,382087 kW olmak üzere, diğer kayıplar enerjisi;

$$\dot{Q}_d = \dot{Q}_y - (P_f + \dot{Q}_{soğ.} + \dot{Q}_{eg.}) \text{ ile,}$$

$$\dot{Q}_d = 21,47964 - (6,520751 + 5,2830696 + 2,382087) = 7,293732 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.1.6. Efektif verim (η)

B0 (STD) yakıtı 1400 d/d için elde edilen efektif güç değerinin (kW), birim zamanda giren yakıt enerjisine (kW) oranını veren efektif verim denklem 4.12 yardımıyla hesaplanabilir. Efektif güç değeri 6,520751 kW ve birim zamandaki yakıt enerjisi 21,47964 kW olmak üzere, efektif verim;

$$\eta = \frac{P_f}{Q_{yakıt}} \text{ ile,}$$

$$\eta = \frac{6,520751}{21,47964} = 0,303578$$

olarak elde edilmiştir.

5.1.7. Özgül yakıt tüketimi (ÖYT)

B0 (STD) yakıtı için 1400 d/d'da motor deneylerinden elde edilen yakıtın kütleli debisi (g/s) ve efektif güç değerlerinin (kW) oranı ile özgül yakıt tüketimi denklem 4.13 yardımıyla hesap edilebilir. Yakıtın kütleli debisi 0,50297294 g/s (1810,7 g/h) ve efektif gücü 6,520751 kW olmak üzere, özgül yakıt tüketimi;

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{P_f} \text{ ile,}$$

$$\text{ÖYT} = \frac{1810,7}{6,520751} = 277,6831267 \text{ g/kWh}$$

olarak elde edilmiştir.

5.2. Ekserji Analizi

5.2.1. Birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisi ($\dot{E}x_{yakıt}$)

Motor deneylerinde kullanılan B0 (STD) yakıtının kimyasal yapısı $C_{14}H_{25}$ olmak üzere; sisteme giriş ekserjisinin yakıtın ekserjisinden meydana geldiği kabulü ile yakıtın kütleli debisi (kg/s) ve özgül yakıt ekserjisi (kJ/kg) değerleri kullanılarak denklem 4.16 yardımıyla birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisi hesap edilebilir. Özgül yakıt ekserjisi, kimyasal ekserji faktörü ve yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg) kullanılarak denklem 4.17 yardımıyla hesap edilebilir. Yakıttaki hidrojenin (h), oksijenin (o), sülfürün (a) kütleli olarak oranları kullanılarak denklem 4.18 yardımıyla kimyasal ekserji faktörü elde edilir. B0 (STD) yakıtının h/c oranı 0,14881, o/c oranı 0, a/c oranı 0 olmak üzere, kimyasal ekserji faktörü (φ);

$$\varphi = 1,0401 + 0,1728 \frac{h}{c} + 0,0432 \frac{o}{c} + 0,2169 \frac{a}{c} \left(1 - 2,0628 \frac{h}{c}\right) \text{ ile,}$$

$$\varphi = 1,0401 + (0,1728 \cdot 0,14881) + (0,0432 \cdot 0) + ((0,2169 \cdot 0)(1 - 2,0628 \cdot 0,14881)) = 1,065814368$$

olarak elde edilmiştir. Hesaplanan kimyasal ekserji faktörü ile yakıtın alt ısı değeri 42705,36 kJ/kg olmak üzere, özgül yakıt ekserjisi;

$$\varepsilon_{yakıt} = \varphi \cdot H_u \left(\frac{kJ}{kg}\right) \text{ ile,}$$

$$\varepsilon_{yakıt} = 1,065814 \cdot 42705,36 = 45515,98628 \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

olarak elde edilmiştir. Hesaplanan özgül yakıt ekserjisi değeri ile yakıtın kütleli debisi 0,000503 kg/s olmak üzere, birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisi;

$$\dot{E}x_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} \cdot \varepsilon_{yakıt} \text{ (kW) ile,}$$

$$\dot{E}x_{yakıt} = 0,000503 \cdot 45515,98628 = 22,89330944 \text{ (kW)}$$

olarak elde edilmiştir.

5.2.2. Net ekserjetik güç ($\dot{E}x_{N_e}$)

Net ekserjetik güç, denklem 4.19 yardımıyla efektif güce eşit olmak üzere;

$$\dot{E}x_{N_e} = 6,520751 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.2.3. Birim zamandaki soğutucu akışkana geçen ekserji ($\dot{E}x_{soğ.}$)

Soğutucu akışkan ekserjisi; soğutucu akışkana birim zamanda verilen enerji (kW), çevre sıcaklığı (K) ve motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması (K) kullanılarak denklem 4.20 yardımıyla hesaplanabilir. \dot{Q}_s 5,2830696 kW, T_0 296,6 K, $T_{ort.}$ 361,05 K olmak üzere, birim zamanda soğutucu akışkana geçen ekserji;

$$\dot{E}x_{soğ.} = \dot{Q}_s \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{ort.}}\right) \text{ ile,}$$

$$\dot{E}x_{soğ.} = 5,2830696 \cdot \left(1 - \frac{296,6}{361,05}\right) = 0,943065602 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.2.4. Birim zamandaki egzoz ile atılan ekserji ($\dot{E}x_{eg.}$)

a. Yanma denklemlerinin elde edilmesi:

Yakıtın gerçek yanma denklemi, yanma ürünlerinin emisyon ölçüm değerleri referans alınarak oluşturulmuştur. Gerçek yanma denkleminin oluşturulmasında havanın içerisindeki N_2 gazının NO ve NO_x gazlarına dönüşmediği ve yanmamış

hidrokarbon emisyon değerlerinin küçük olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle, yanma denkleminde HC'a yer verilmemiştir. B0 (STD) 1400 d/d için CO ve CO₂ emisyon değerleri sırasıyla % 0,0399 ve % 0,882'dir. Emisyon değerleri % biriminden g/kWh birimine denklem 4.22 ve 4.23 ile aşağıdaki gibi dnştrlmştir.

CO emisyon değeri;

CO → % emisyon . 35,91 = g/kWh ile,

CO → 0,0399 . 35,91 = 1,432 g/kWh olarak elde edilmiştir.

CO₂ emisyon değeri;

CO₂ → % emisyon . 63,47 = g/kWh ile,

CO₂ → 0,882 . 63,47 = 55,98 g/kWh olarak elde edilmiştir.

CO ve CO₂ molekül kütleleri ve g/kWh biriminden egzoz emisyon değerleri kullanılarak CO ve CO₂'in yanma denklemindeki mol sayıları denklem 4.24 ve 4.25 ile aşağıdaki gibi bulunmuştur.

CO mol sayısı;

CO → $\frac{\frac{g}{kWh} \text{ emisyon}}{28} = \text{mol/kWh}$ ile,

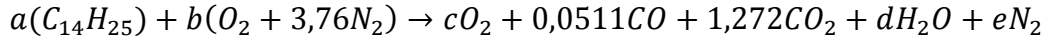
CO → $\frac{1,432}{28} = 0,0511 \text{ mol/kWh}$ olarak elde edilmiştir.

CO₂ mol sayısı;

CO₂ → $\frac{\frac{g}{kWh} \text{ emisyon}}{44} = \text{mol/kWh}$ ile,

$$CO_2 \rightarrow \frac{55,98}{44} = 1,272 \text{ mol/kWh} \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

CO ve CO₂ için bulunan mol sayıları B0 (STD) yakıtı için yanma denkleminde yerine konularak,



olarak gerçek yanma denklemi elde edilmiştir. Karbon (C) mol sayıları denkleştirilerek giren yakıt mol sayısı $a = 0,094532625$ olarak bulunmuştur.

Havanın kütlesi, denklem 4.26 yardımıyla, elde edilen yakıt kütlesi ve hava/yakıt oranı kullanılarak;

$$m_{hava} = (H/Y) \cdot (m_{yakıt}) \text{ ile,}$$

$$m_{hava} = (16,0048) \cdot (18,24) = 292,005 \text{ kg}$$

olarak elde edilmiştir.

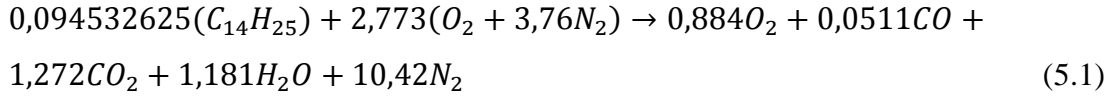
Denklem 4.27 ile havanın kütlesi kullanılarak havanın mol sayısı;

$$(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow \frac{m_{hava}}{(3,76) \cdot (28 \text{ kg/kmol})} \text{ ile,}$$

$$(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow \frac{292,005}{(3,76) \cdot (28 \text{ kg/kmol})} = 2,773 \text{ mol/kWh}$$

olarak elde edilmiştir.

Yanma denklemi her bir ürün için denkleştirilerek B0 (STD) yakıtı için 1400 d/d'da gerçek yanma denklemi son halini aşağıda ifade edildiği gibi almıştır.



Denklem 5.1 ile ifade edilen kimyasal yanma denklemi örneğinde olduğu gibi ekserji analizleri sırasında her bir yakıt türü ve devir durumunda, doğal emiş ve aşırı doldurma şartları için ayrı ayrı kimyasal yanma denklemleri elde edilmiştir.

b. Yanma ürünlerinin gerçek kütlelerinin bulunması:

Her bir yanma ürününün mol kütlesi aşağıdaki gibidir.

$$m_{O_2} = 32 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{CO_2} = 44 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{CO} = 28 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{H_2O} = 18 \text{ kg/kmol}$$

$$m_{N_2} = 28 \text{ kg/kmol}$$

Yanma ürünlerinin mol kütleleri ile denklem 5.1'de ifade edilen gerçek yanma denklemindeki mol sayıları çarpılarak yanma ürünlerinin kütlesi,

$$m_{top} = 0,884(m_{O_2}) + 0,0511(m_{CO}) + 1,272(m_{CO_2}) + 1,181(m_{H_2O}) + 10,42(m_{N_2})$$

$$m_{top} = 0,884(32) + 0,0511(28) + 1,272(44) + 1,181(18) + 10,42(28)$$

$$m_{top} = 341,5917653 \text{ kg}$$

olarak elde edilmiştir.

Denklem 4.31'de motor deneylerinde ölçülen \dot{m}_y 0,000503 kg/s ve \dot{m}_h 0,008050 kg/s yakıt ve hava kütleli debileri kullanılarak egzoz gazlarının kütleli debisi,

$$\dot{m}_{eg} = (\dot{m}_y + \dot{m}_h)(0,98) \text{ ile,}$$

$$\dot{m}_{eg} = (0,000503 + 0,008050)(0,98) = 0,00838 \text{ kg/s}$$

olarak elde edilmiştir.

$$x_i = \frac{m_i}{m_{toplam}},$$

$$x_i = \frac{\dot{m}_i}{\dot{m}_{toplam}},$$

$$\dot{m}_i = x_i \cdot \dot{m}_{top} = x_i \dot{m}_{eg}$$

denklemleri (denklem 4.29 – 4.32) kullanılarak hesaplanan değerler Tablo 5.1.'de her bir ürün için verilmiştir.

Tablo 5.1. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün mol kesri, kütleli debisi.

Egzoz Gazı	m_i (kg)	$m_{top.}$ (kg)	x_i	\dot{m}_{eg} (kg/s)	\dot{m}_i (kg/s). 10^3
N ₂	292,00499	341,59176	0,731832722	0,00838	6,134
H ₂ O	21,26984	341,59176	0,053307188	0,00838	0,446
CO ₂	55,98054	341,59176	0,140300307	0,00838	1,175
CO	1,432809	341,59176	0,003590954	0,00838	0,030
O ₂	28,31692	341,59176	0,070968829	0,00838	0,594

c. Yanma ürünlerinin termomekaniksel ekserji değerlerinin bulunması:

Deneyle esnasında ölçümü yapılan 616,5 K egzoz sıcaklık değeri ve 296,6 K çevre sıcaklık değerine göre termodinamik özellik tablolarından okunan entalpi ve entropi değerleri Tablo 5.2.'de her bir ürün için verilmiştir.

Tablo 5.2. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün çevre ve egzoz sıcaklıklarındaki entalpi ve entropi değerleri.

Egzoz Gazı	h (kJ/kmol)	h ₀ (kJ/kmol)	s (kJ/kmol.K)	s ₀ (kJ/kmol.K)
N ₂	18060,3	8588,42	212,883	191,227
H ₂ O	21002,25	9811,18	213,914	188,404
CO ₂	23064,05	9261,6	244,486	213,336
CO	18113,9	8588,42	219,031	197,268
O ₂	18459,3	8600,74	227,216	204,755

Denklem 3.5 ile T_0 296,6 K çevre sıcaklığı olmak üzere, Tablo 5.2.'de belirtilen entalpi ve entropi değerleri kullanılarak hesaplanan termomekaniksel ekserji değerleri her bir yanma ürünü için Tablo 5.3.'te verilmiştir.

Termomekaniksel ekserji değerleri,

$$\varepsilon_{fzk} = [(h - h_0) - T_0 (s - s_0)] \text{ ile,}$$

Tablo 5.3. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün termomekaniksel ekserji değerleri.

Egzoz Gazı	ε_{tm} (kJ/kmol)
N ₂	3048,7104
H ₂ O	3624,804
CO ₂	4563,36
CO	3070,5742
O ₂	3196,6274

olarak elde edilmiştir.

d. Yanma ürünlerinin kimyasal ekserji değerlerinin bulunması:

Denklem 3.10 ile \bar{R} (=8,314 kJ/kmol.K) evrensel gaz sabiti, T_0 296,6 K ve y^e Tablo 4.6.'da verilen referans çevredeki bileşenin mol kesri kullanılarak hesaplanan kimyasal ekserji değerleri Tablo 5.4.'te verilmiştir.

Kimyasal ekserji değerleri,

$$\varepsilon_{kim} = -\bar{R}T_0 \ln y^e \text{ ile,}$$

Tablo 5.4. Örnek uygulamada her bir yanma ürününün kimyasal ekserji değerleri.

Egzoz Gazı	ε_{kim} (kJ/kmol)
N ₂	687,4733613
H ₂ O	8622,397888
CO ₂	19658,3296
CO	29269,63222
O ₂	3925,984525

olarak elde edilmiştir.

e. Yanma ürünlerinin toplam ekserjileri:

Denklem 3.6 ile ifade edilen toplam ekserji değeri, her bir yanma ürünü için Tablo 5.5.'te verilmiştir.

Toplam ekserji değeri,

$$\varepsilon_{top} = \varepsilon_{tm} + \varepsilon_{kim} \text{ ile,}$$

Tablo 5.5. Her bir yanma ürününün toplam ekserji değeri.

Egzoz Gazı	ε_{top} . (kJ/kmol)	ε_{top} . (kJ/kg)
N ₂	3736,183761	133,4351343
H ₂ O	12247,20189	680,4001049
CO ₂	24221,6896	550,4929454
CO	32340,20642	1155,007372
O ₂	7122,611925	222,5816226

olarak elde edilmiştir.

f. Egzoz ekserjisi:

Egzoz ekserjisi, kimyasal yanma ürünlerinin her birinin Tablo 5.5.'te verilen toplam ekserjisi, Tablo 5.1.'de verilen kütleli debisi ve her bir yanma ürününün mol kütlesi kullanılarak denklem 4.33 düzenlenerek 5.2 bağıntısı ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{eg} = \dot{m}_{N_2} \cdot \varepsilon_{topN_2} + \dot{m}_{O_2} \cdot \varepsilon_{topO_2} + \dot{m}_{CO_2} \cdot \varepsilon_{topCO_2} + \dot{m}_{H_2O} \cdot \varepsilon_{topH_2O} + \dot{m}_{CO} \cdot \varepsilon_{topCO} \quad (5.2)$$

$$\dot{E}x_{eg} = 1,937 \text{ kW}$$

5.2.5. Diğer kayıplar ekserji ($\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$)

Diğer kayıplar ekserjisi; çevre sıcaklığı (K), motor bloğu yüzey sıcaklığı (K) ve kayıp enerji (kW) değerleri kullanılarak denklem 4.34 yardımıyla hesaplanabilir. T_0 296,6 K, T_m 358,85 K ve \dot{Q}_d 7,293732 kW olmak üzere, toplam ısı kayıpları ekserjisi;

$$\dot{E}x_{\dot{Q}_d} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{mot.}}\right) \cdot \dot{Q}_d \text{ ile,}$$

$$\dot{E}x_{\dot{Q}_d} = \left(1 - \frac{296,6}{358,85}\right) \cdot 7,293732 = 1,265249 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.2.6. Birim zamandaki yok olan ekserji değeri ($\dot{E}x_{kayıp}$)

Elde edilen $\dot{E}x_{yakıt}$, $\dot{E}x_{N_e}$, $\dot{E}x_{soğ.}$, $\dot{E}x_{eg.}$ ve $\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$ değerleri denklem 4.35'te yerine konulursa, birim zamandaki yok olan ekserji değeri;

$$\dot{E}x_{kayıp} = \dot{E}x_{yakıt} - \dot{E}x_{N_e} - \dot{E}x_{soğ.} - \dot{E}x_{eg.} - \dot{E}x_{\dot{Q}_d} \text{ ile,}$$

$$\dot{E}x_{kayıp} = 22,89331 - 6,520751 - 0,943066 - 2,017652 - 1,26525 = 12,1465 \text{ kW}$$

olarak elde edilmiştir.

5.2.7. Ekserjetik verim (η_u)

İkincil yasa verimi; net ekserjetik güç (kW) ve birim zamanda silindire giren yakıt ekserji (kW) değerleri kullanılarak denklem 4.36 yardımıyla hesaplanabilir. $\dot{E}x_{N_e}$ 6,520751 kW ve $\dot{E}x_{yakıt}$ 22,89331 kW olmak üzere, ekserjetik verim;

$$\eta_u = \frac{\dot{E}x_{Ne}}{\dot{E}x_{yakıt}} \text{ ile,}$$

$$\eta_u = \frac{6,520751}{22,89331} = 0,28$$

olarak elde edilmiştir.

5.2.8. Birim ekserji maliyeti (C)

Birim ekserji maliyeti; silindire içerisine birim zamanda giren yakıt ekserji değeri (kW) ve net ekserjetik güç (kW) değerleri kullanılarak denklem 4.37 yardımıyla hesaplanabilir. $\dot{E}x_{yakıt}$ 22,89331 kW ve $\dot{E}x_{Ne}$ 6,520751 kW olmak üzere, birim ekserji maliyeti;

$$C = \frac{\dot{E}x_{yakıt}}{\dot{E}x_{Ne}} \text{ ile,}$$

$$C = \frac{22,89331}{6,520751} = 3,510839$$

olarak elde edilmiştir.

BÖLÜM 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, aşırı doldurmalı bir dizel motorunda yapılan motor deneyleri sonucunda elde edilen veriler yardımıyla termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu gereğince enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Enerji analizi uygulaması ile; birim zamanda silindire giren yakıt enerji miktarı, efektif güç, birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji miktarı, birim zamanda egzoz ile atılan enerji miktarı, çeşitli kayıplar nedeniyle kayıp enerji miktarı, efektif verim, motor özgül yakıt tüketimi hesap edilirken, ekserji analizi uygulaması ile; birim zamanda silindire giren yakıt ekserjisi, net ekserjetik güç, birim zamanda soğutucu akışkana geçen ekserji, birim zamanda egzoz ile atılan ekserji, yok olan ekserji değeri, çeşitli kayıplar nedeniyle ekserji kaybı, ekserjetik verim ve birim yakıt maliyeti değerleri hesap edilmiştir.

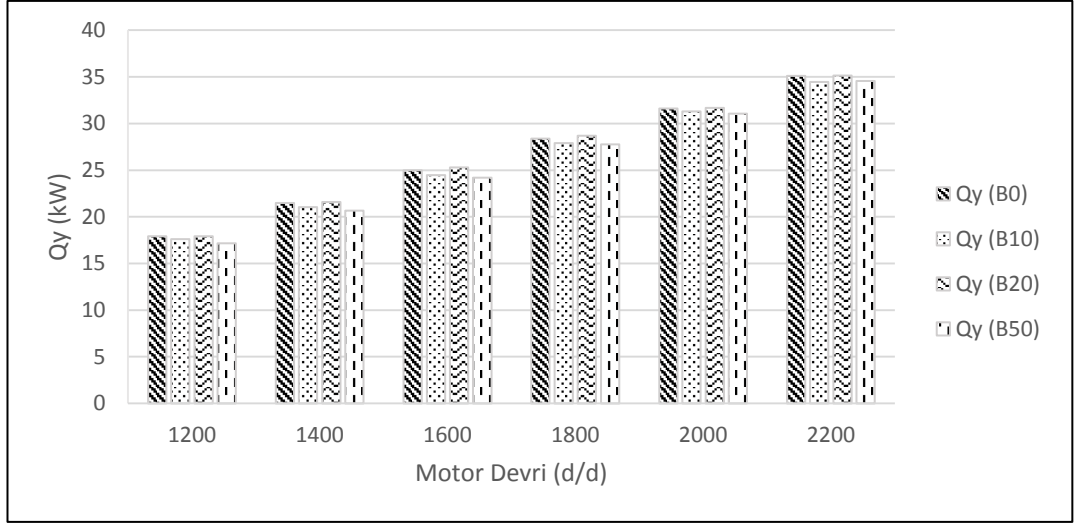
Deneyleerin ilk aşamasında motor yakıtı olarak dizel ve pamuk yağı metil esteri biyodizelinin farklı oranlarda karıştırılması ile meydana gelen 3 farklı yakıt tipi (B10, B20, B50) kullanılmıştır. Deneyleer tam yük şartlarında, doğal emiş durumu için, 1200 d/d ile 2200 d/d arasında 6 farklı devir sayısında gerçekleştirilmiştir Bu yakıtların kullanım durumlarının enerji ve ekserji analizi bakımından kıyas edilebilmesi için saf dizel yakıt (B0) referans olarak kullanılmış, motor deneyleeri B0 yakıtı kullanılması durumu için tekrar edilmiştir. İkinci aşamada ise motor deneyleeri B0 – B20 yakıt türleri için, 1200 d/d ile 2200 d/d arasında 6 farklı devir sayısında aşırı doldurma durumu için yapılmıştır.

6.1. Enerji Analizi

6.1.1. Motorun doğal emiş durumunda B0 - B10 - B20 - B50 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu

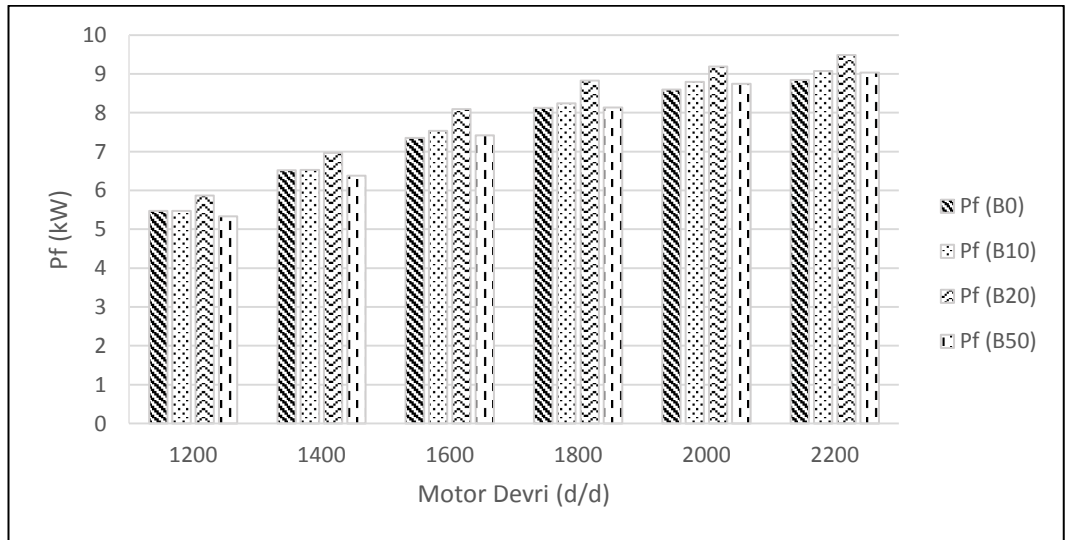
Bu bölümde; doğal emiş durumundaki deney motorunun, B0 – B10 – B20 – B50 yakıtları ile, 1200 d/d ile 2200 d/d arasında 6 farklı devir sayısı için, tam yük şartlarında çalıştırılması durumu için elde edilen enerji analizi sonuçları grafiklerle verilmiştir.

Şekil 6.1.'de yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yakıt}$) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Yakıt enerjisi değeri, yakıtın yoğunluğu ve alt ısı değeri ile ilgili bir parametredir (Zheng ve Caton, 2012). Yakıtlar kıyas edildiğinde, bütün devirlerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tüm yakıt türleri için $\dot{Q}_{yakıt}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için ortalama $\dot{Q}_{yakıt}$ değerleri sırası ile 26,53 kW, 26,12 kW, 26,58 kW, 25,89 kW olarak elde edilmiştir. En yüksek $\dot{Q}_{yakıt}$ değerinin B20 yakıtına ait olduğu görülmüştür. Biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtına kıyasla fazla olması bir motor çevriminde silindir içine giren yakıt enerji değerinin artmasını sağlamaktadır. Fakat, yakıt harmanı içerisindeki biyodizel oranı arttıkça biyodizelin ısıl değerinin dizele göre düşük olması ve yoğunluğun çok daha fazla olmasından dolayı B20'de artışı sağlayan optimum faktörler B10 ve B50'de etkili olamamaktadır. Devir sayısı açısından kıyas edildiğinde tüm yakıt türleri için $\dot{Q}_{yakıt}$ değeri motor devri arttıkça artış göstermiştir. Yakıtların alt ısı değerlerinin motor devir sayısından bağımsız bir parametre olması nedeniyle, bu durum yakıtın kütleli debisinin motor devri arttıkça artmasının bir sonucudur.



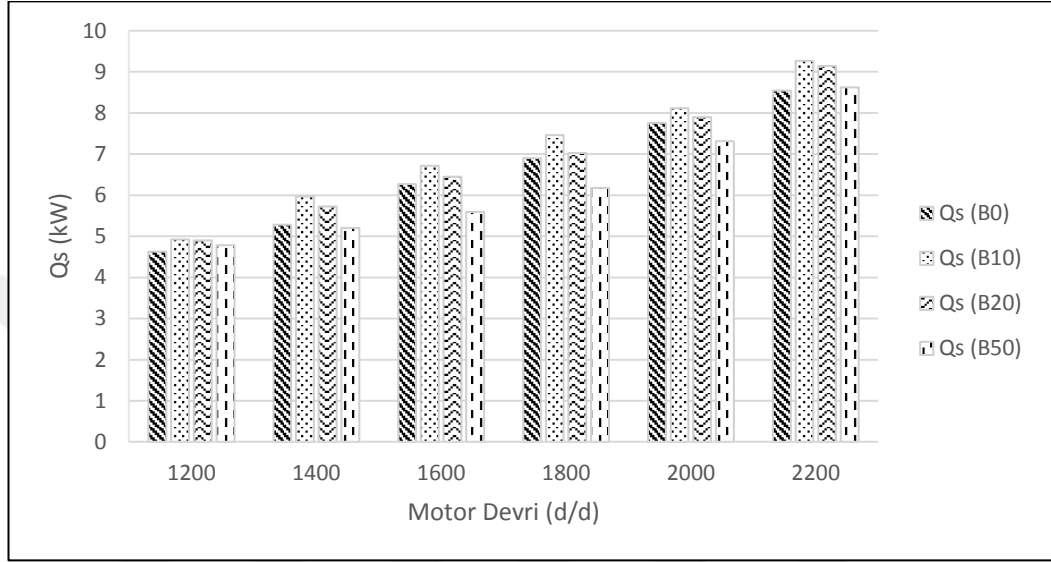
Şekil 6.1. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yakıt}$) değerleri.

Şekil 6.2.'de elde edilen efektif güç (P_f) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için P_f maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama P_f değerleri sırası ile 7,48 kW, 7,63 kW, 8 kW, 7,61 kW olarak elde edilmiştir. En yüksek P_f değerinin B20 yakıtına ait olduğu görülmüştür. Bu durum dizel yakıtının viskozitesinin biyodizel yakıtına kıyasla daha düşük olmasına karşı, biyodizelin oksijen bakımından zengin bir kimyasal yapıya sahip olması ve motor tork değerlerinin yüksek olmasından dolayı kaynaklanmaktadır.



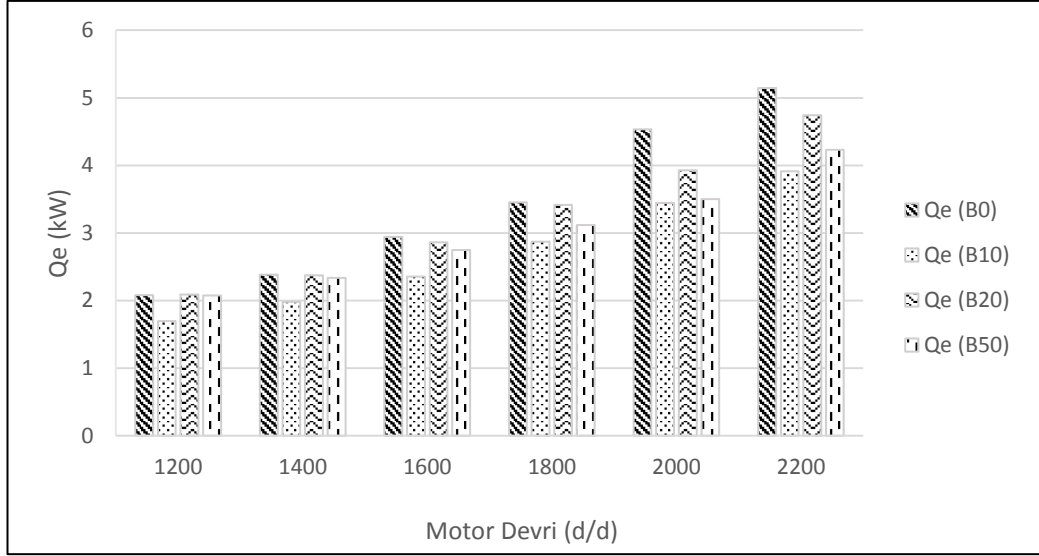
Şekil 6.2. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için efektif güç (P_f) değerleri.

Şekil 6.3.'te elde edilen soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{Q}_{soğ.}$) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için $\dot{Q}_{soğ.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{Q}_{soğ.}$ değerleri sırası ile 6,56 kW, 7,07 kW, 6,85 kW, 6,28 kW olarak elde edilmiştir.



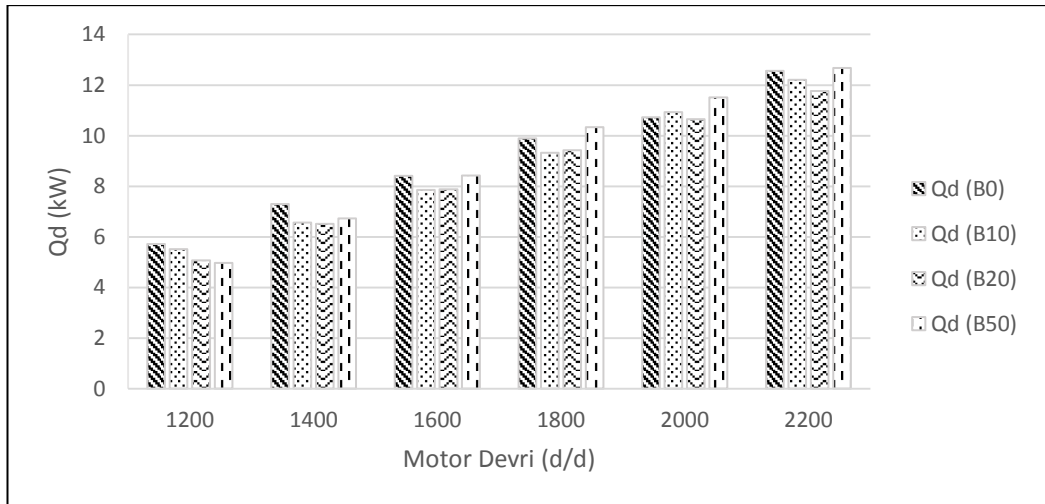
Şekil 6.3. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{Q}_{soğ.}$) değerleri.

Şekil 6.4'te elde edilen egzozla atılan birim zamandaki enerji ($\dot{Q}_{eg.}$) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Egzoz enerjisi değeri, egzoz gazlarının taşıdığı ısı enerjisinin ölçüsüdür (Sayın, 2014). Tüm yakıtlar için $\dot{Q}_{eg.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almış, egzoz gaz sıcaklıklarındaki artışa bağlı olarak devir sayısı arttıkça artış göstermiştir. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{Q}_{eg.}$ değerleri sırası ile 3,42 kW, 2,71 kW, 3,23 kW, 3,04 kW olarak elde edilmiştir. Egzoz gazı içerisindeki yüksek NO_x emisyonları, B0 yakıtının diğer yakıtlara kıyasla daha yüksek egzoz gaz sıcaklıklarına ve egzoz enerji değerlerine sahip olmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.4. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için egzoz ile atılan enerji (\dot{Q}_{eg}) değerleri.

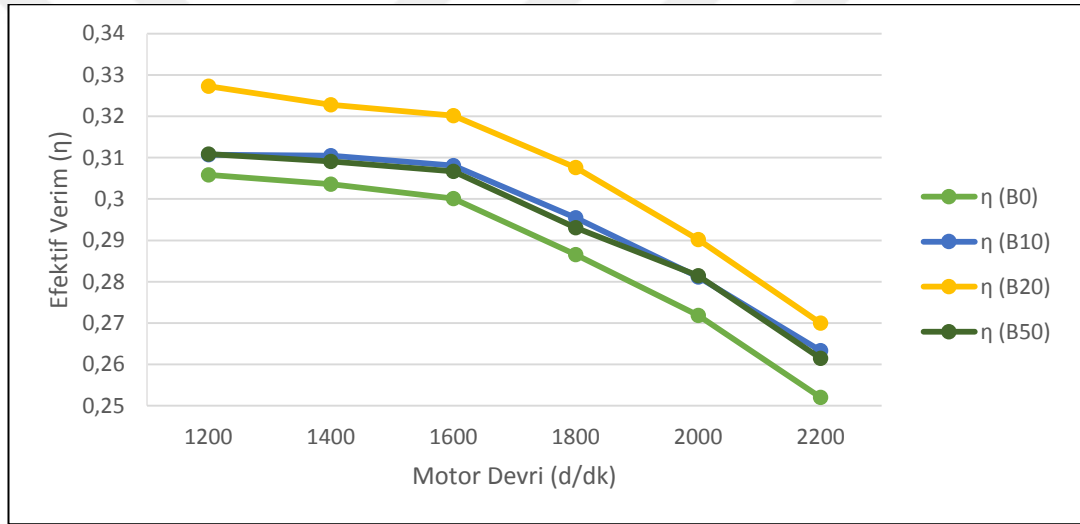
Şekil 6.5.'te elde edilen kayıp enerji (\dot{Q}_d) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için \dot{Q}_d maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için ortalama \dot{Q}_d değerleri sırası ile 9,06 kW, 8,7 kW, 8,49 kW, 8,95 kW olarak elde edilmiştir. Bazı motor devirlerinde gözlemlenen düzensizlikler, motora ekserji analizi yapılarak daha doğru ve net sonuçlar ile irdelenmiştir.



Şekil 6.5. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için kayıp enerji (\dot{Q}_d) değerleri.

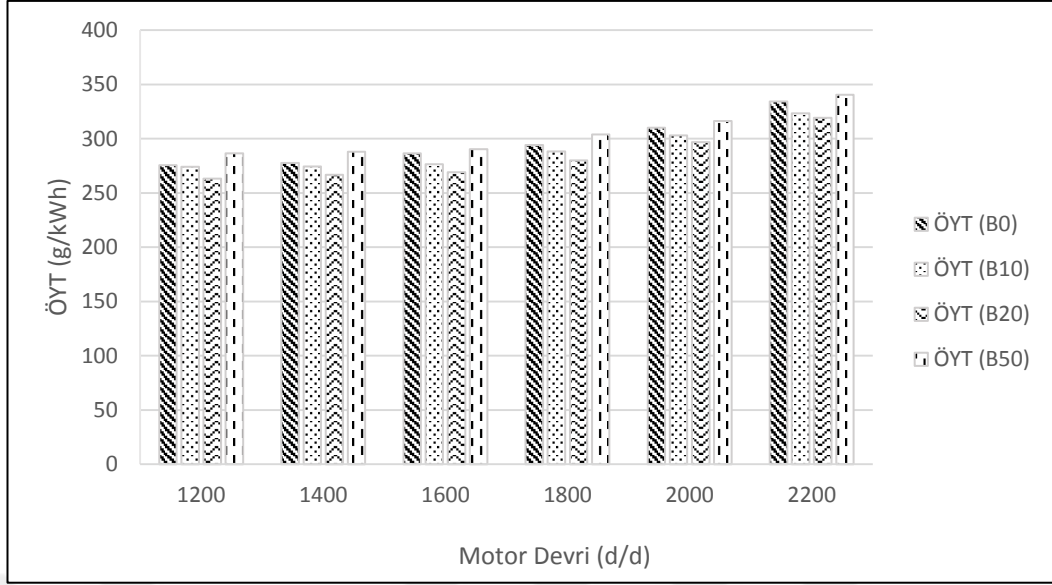
Şekil 6.6.'da elde edilen veriler ile hesaplanan efektif verim (η) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için efektif verimin (η) maksimum değerini 1200 d/d'da aldığı ve devir sayısındaki artışa zıt yönde arttığı

görülmüştür. Efektif verimdeki azalmanın başladığı noktanın yaklaşık olarak motor tork değerinin maksimuma ulaştığı devir sayısı olduğu belirtilebilir. Sayın (2014) yaptığı çalışmada efektif verimdeki azalmayı motordaki mekanik sürtünmelere, döner parçalar için karşılanması gereken atalet kuvvetlerine, devir sayısındaki artışa bağlı olarak yanma süresinin kısalmasına dayandırmıştır. Şekilden görüldüğü üzere, motorda B20 kullanılması durumunda bütün devirlerde dizel kullanımına kıyasla efektif verim değerlerinde artışlar görülmüştür. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama efektif verim değerleri sırası ile 0,29, 0,29, 0,3, 0,29 olarak elde edilmiştir. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı için efektif verimin diğer yakıtlardan yüksek olduğu tespit edilmiştir.



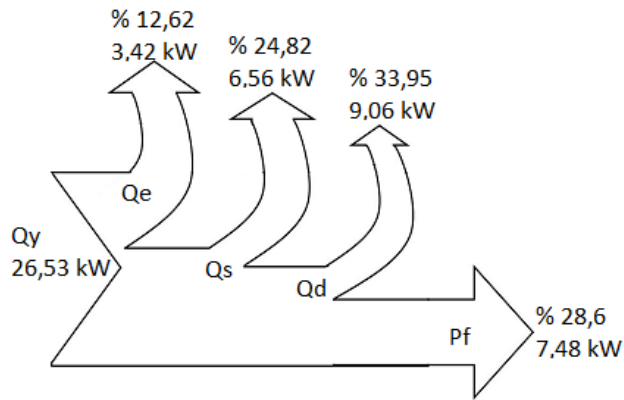
Şekil 6.6. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için efektif verim (η) değerleri.

Yakıtın kütleli debisinin, motor efektif gücüne oranı olarak ifade edilen özgül yakıt tüketimi değerleri Şekil 6.7.'de gösterilmiştir. Tüm yakıtlar için ÖYT maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. ÖYT, tanımı gereği yakıtın alt ısıl değeri ile ters orantılıdır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama ÖYT değerleri sırası ile 296 g/kWh, 288 g/kWh, 284g/kWh, 299 g/kWh olarak elde edilmiştir. ÖYT'de B10 ve B20 kullanımında diğer karışım oranlarına göre azalma görülmüştür. Bunun nedeni olarak, biyodizel yakıtlarda efektif güç değerlerinin dizel yakıtla oranla artması düşünülmektedir.

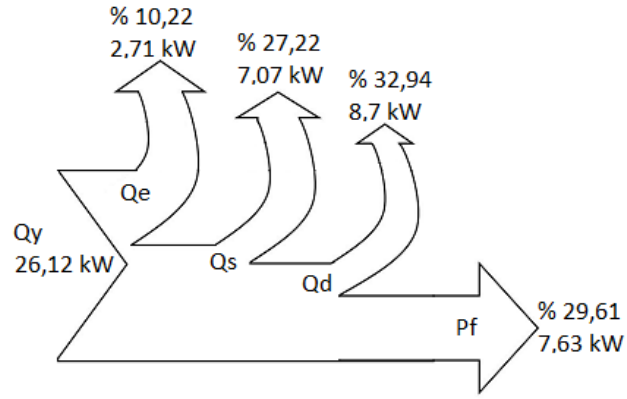


Şekil 6.7. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için özgül yakıt tüketimi değerleri.

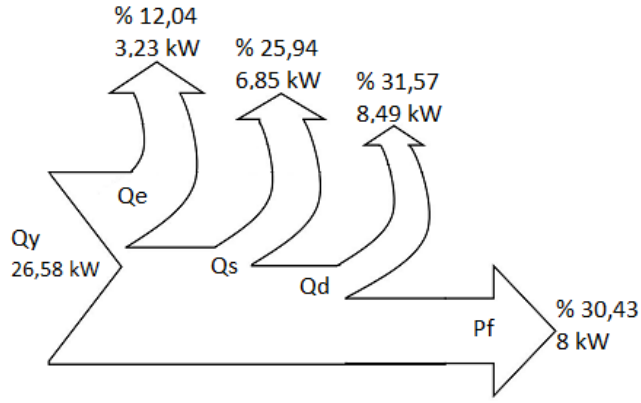
Elde edilen enerji analizi sonuçları her bir yakıt türü için bütün devirlerin ortalaması olarak Şekil 6.8.- 6.11.'de görülen Sankey (Enerji) Diyagramları ile verilmiş, enerji yüzdeleri diyagramlarda gösterilmiştir. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD), B10, B20, B50 yakıt türleri için elde edilen yakıt enerji miktarı sırasıyla 26,53 kW, 26,12 kW, 26,58 kW, 25,89 kW olarak hesaplanmıştır. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD), B10, B20, B50 yakıt türleri için elde edilen efektif güç değerleri sırasıyla %28,6, %29,61, %30,43, %29,89 olarak hesaplanmıştır.



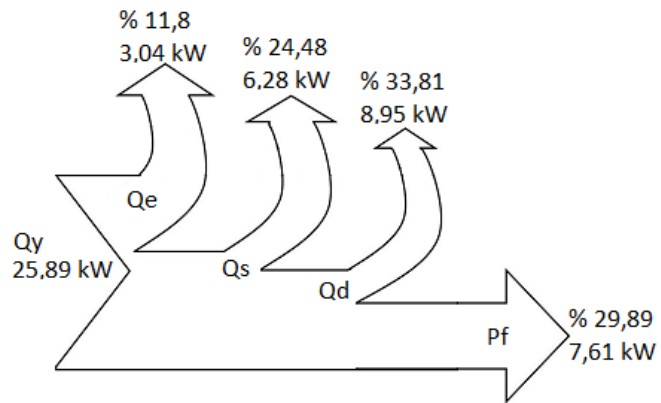
Şekil 6.8. Tüm devir sayılarında B0 (STD) yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.



Şekil 6.9. Tüm devir sayılarında B10 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.



Şekil 6.10. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.

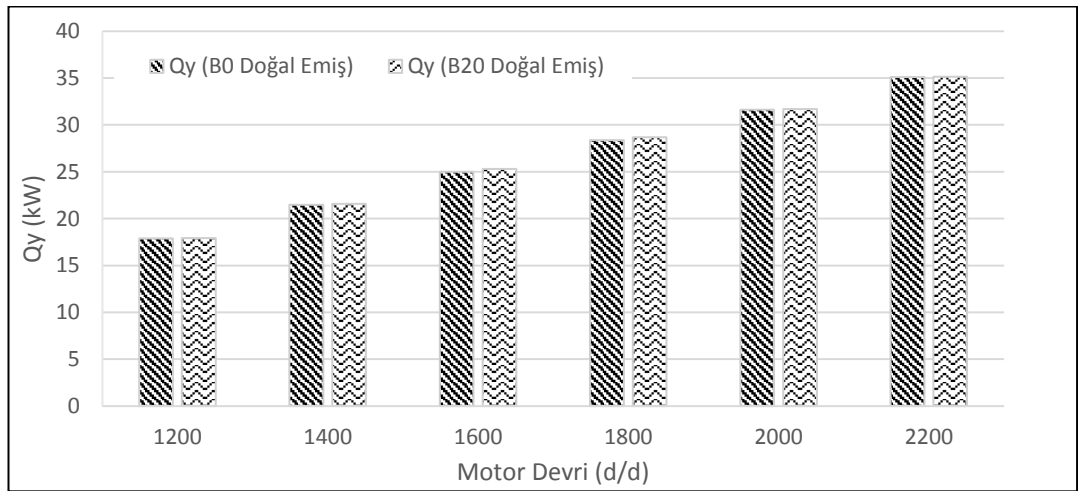


Şekil 6.11. tüm devir sayılarında B50 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramı.

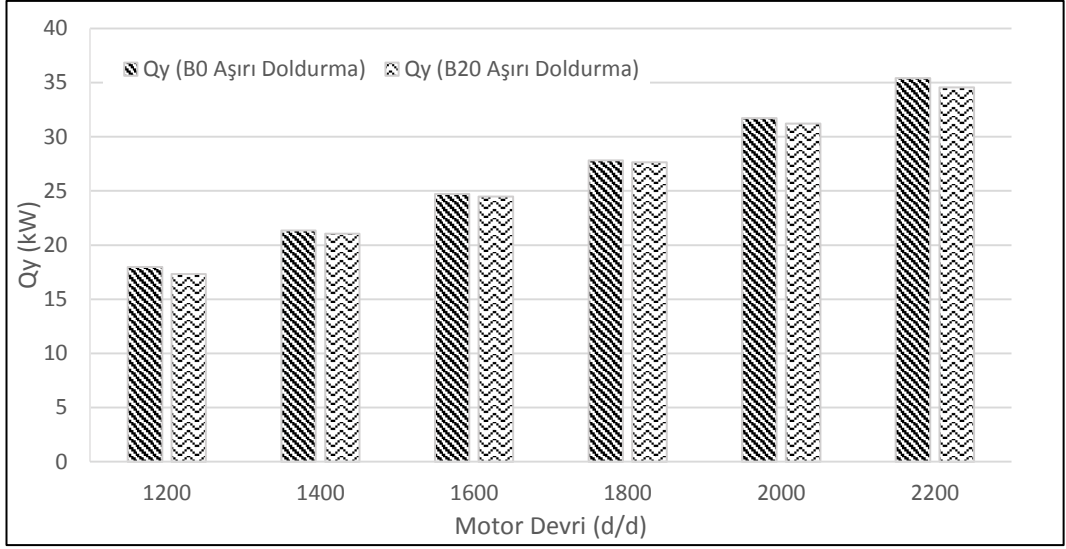
6.1.2. Motorun aşırı doldurma uygulaması durumunda B0 - B20 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu

Bu bölümde; motora aşırı doldurma uygulanması durumunda, B0 - B20 yakıtları ile 1200 d/d ile 2200 d/d arasında, 6 farklı devir sayısı ile tam yük şartlarında çalıştırılması durumu için elde edilen enerji analizi sonuçları doğal emiş durumundaki motor ile kıyas edilerek grafiklerle verilmiştir.

Şekil 6.12. ve 6.13.'te elde edilen yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yakıt}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş durumundaki motor ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{Q}_{yakıt}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için ortalama $\dot{Q}_{yakıt}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 26,53 kW ve 26,58 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 26,49 kW ve 26,04 kW olarak elde edilmiştir. En yüksek $\dot{Q}_{yakıt}$ değeri doğal emiş durumundaki motorda B20 yakıtına aitken, aşırı doldurma uygulanmış motorda B0 yakıtına ait olduğu görülmüştür. Yakıtlar kıyas edildiğinde, bütün devirlerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Devir sayısı açısından kıyas edildiğinde tüm yakıt türleri için $\dot{Q}_{yakıt}$ değeri motor devri arttıkça doğal emiş durumunda olduğu gibi aşırı doldurma durumunda da artış göstermiştir. Doğal emiş durumunda B20 yakıtının enerji değerinin B0 yakıtından fazla olmasını sağlayan faktörler, aşırı doldurma durumunda etkili olamamıştır.

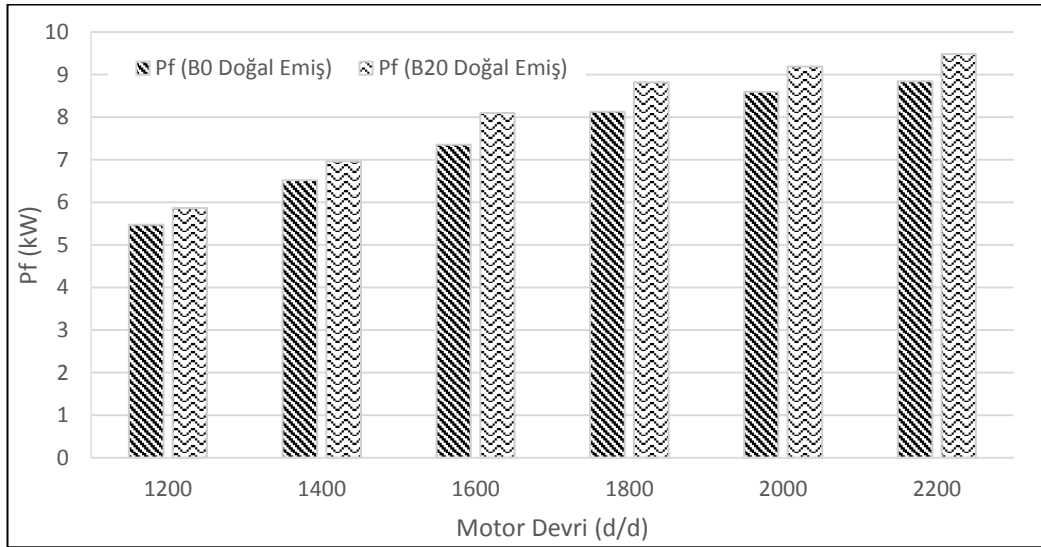


Şekil 6.12. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yakıt}$) değerleri.

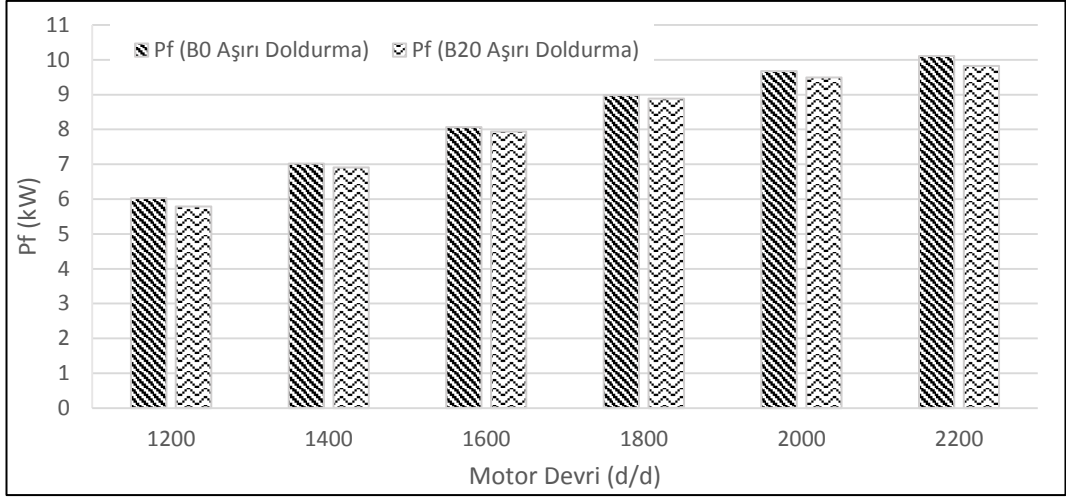


Şekil 6.13. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma yakıt enerjisi ($\dot{Q}_{yakıt}$) değerleri.

Şekil 6.14. ve 6.15.'te elde edilen efektif güç (P_f) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için P_f maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama P_f değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 7,48 kW ve 8 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 8,31 kW ve 8,14 kW olarak elde edilmiştir. Doğal emiş durumunda en yüksek P_f değeri B20 yakıtına aitken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtına ait olduğu görülmüştür.

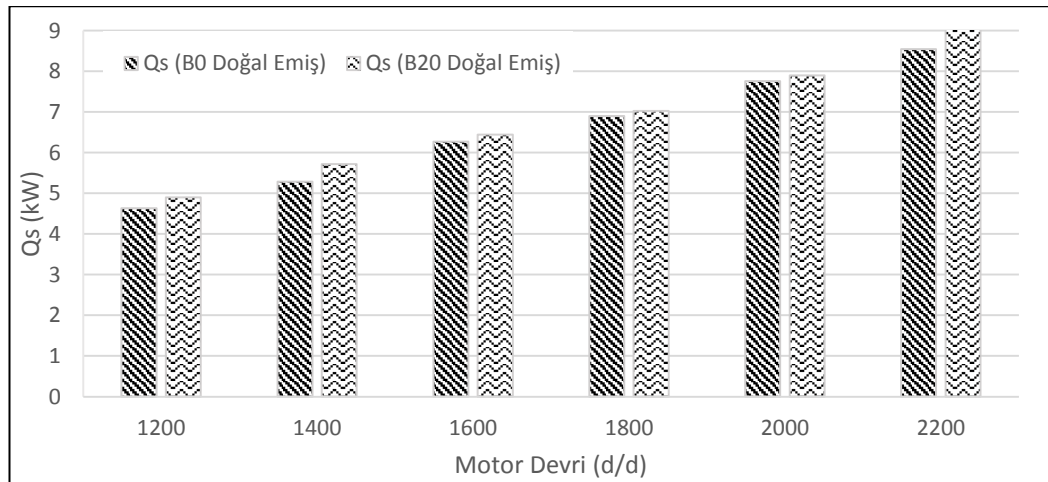


Şekil 6.14. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş efektif güç (P_f) değerleri.

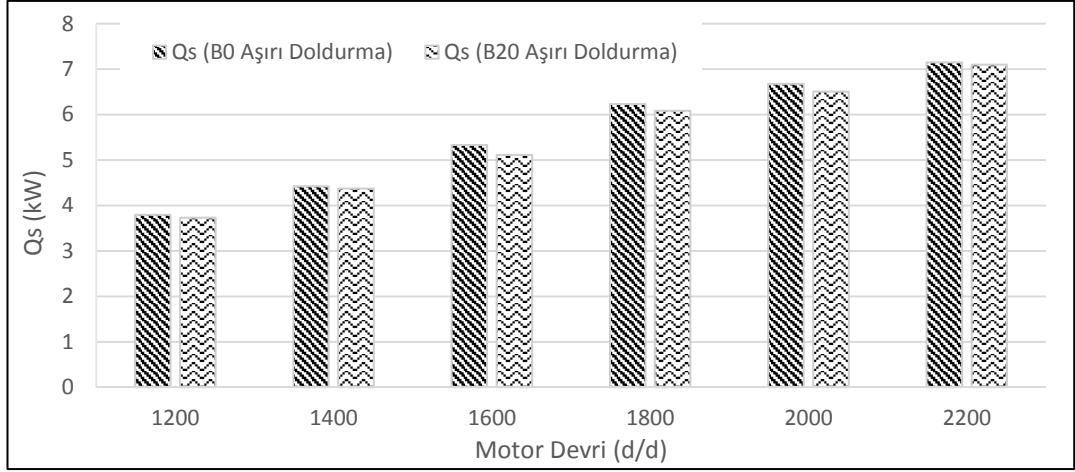


Şekil 6.15. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma efektif güç (P_f) değerleri.

Şekil 6.16. ve 6.17.'de elde edilen soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{Q}_{soğ.}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{Q}_{soğ.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{Q}_{soğ.}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 6,56 kW ve 6,85 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 5,6 kW ve 5,48 kW olarak elde edilmiştir. Doğal emiş durumunda en yüksek $\dot{Q}_{soğ.}$ değeri B20 yakıtına aitken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtına ait olduğu görülmüştür.

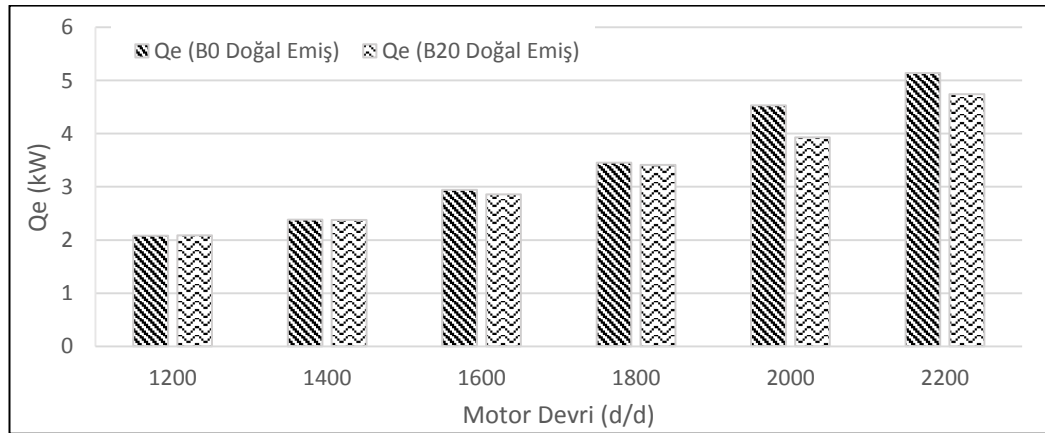


Şekil 6.16. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{Q}_{soğ.}$) değerleri.

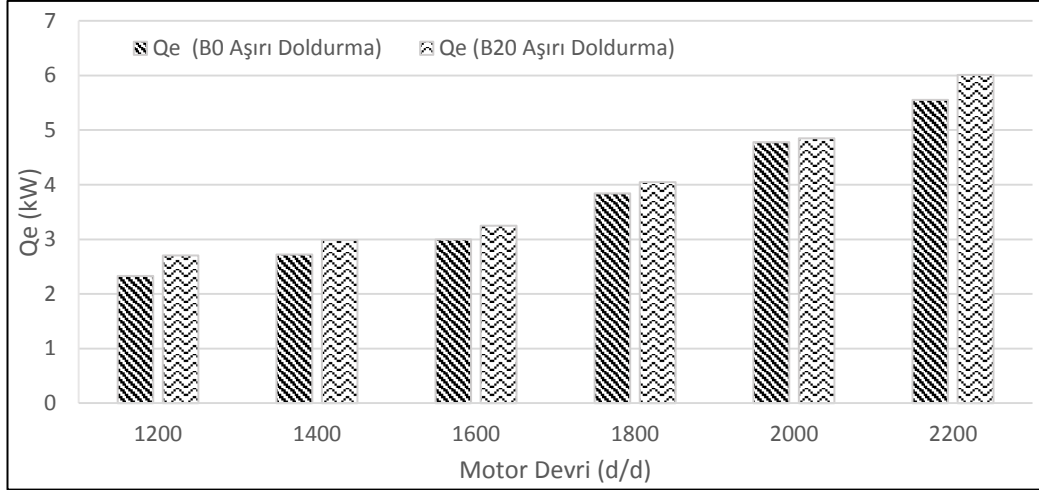


Şekil 6.17. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{Q}_{soğ.}$) değerleri.

Şekil 6.18. ve 6.19'da elde edilen egzozla atılan birim zamandaki enerji ($\dot{Q}_{eg.}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{Q}_{eg.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almış, egzoz gaz sıcaklıklarındaki artışa bağlı olarak devir sayısı arttıkça artış göstermiştir. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{Q}_{eg.}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 3,42 kW ve 3,23 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 3,7 kW ve 3,97 kW olarak elde edilmiştir. Motora aşırı doldurma uygulanması sırasında egzoz gazı içerisindeki NO_x emisyonlarında yaşanan düşüş, B0 yakıtının B20 yakıtına kıyasla daha düşük egzoz gaz sıcaklıklarına ve egzoz enerji değerlerine sahip olmasını sağlamıştır.

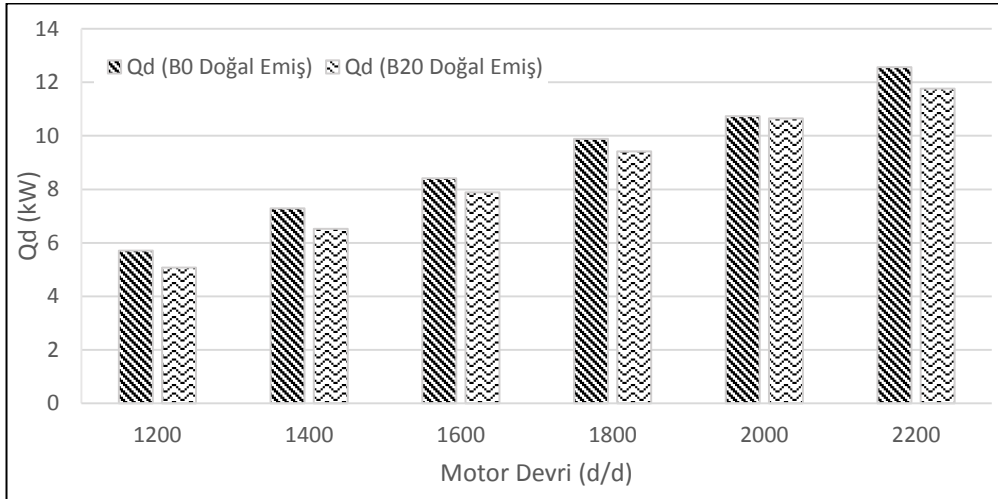


Şekil 6.18. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş egzoz ile atılan enerji ($\dot{Q}_{eg.}$) değerleri.

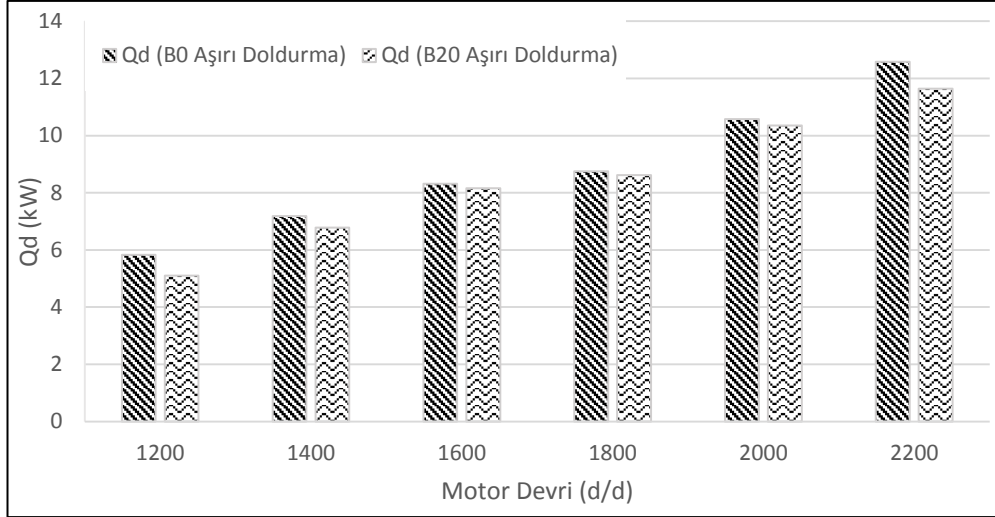


Şekil 6.19. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma egzoz ile atılan enerji (\dot{Q}_{eg}) değerleri.

Şekil 6.20 ve 6.21.'de elde edilen kayıp enerji (\dot{Q}_d) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için \dot{Q}_d maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için ortalama \dot{Q}_d değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 9,06 kW ve 8,49 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 8,87 kW ve 8,44 kW olarak elde edilmiştir.

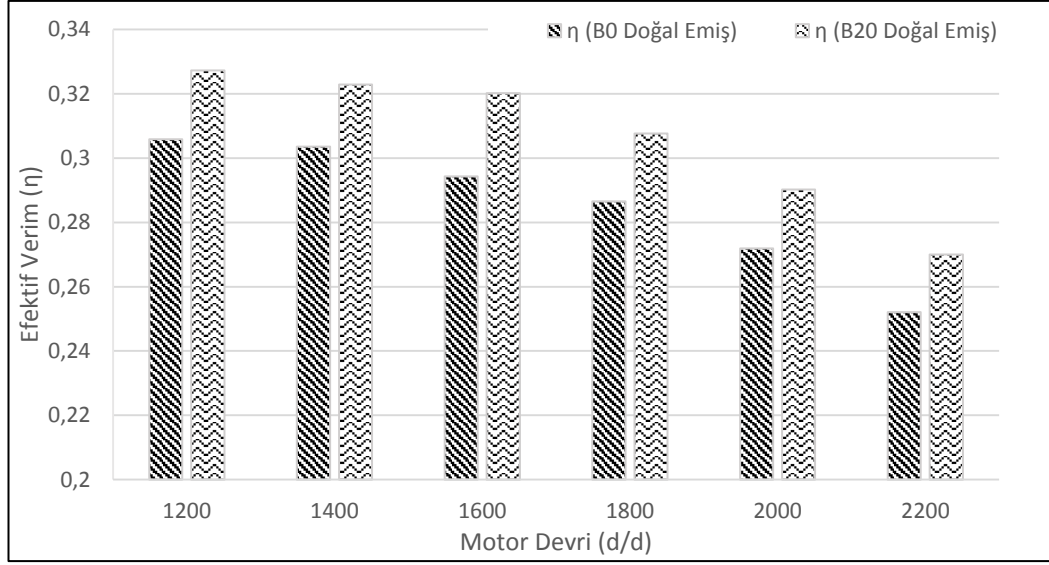


Şekil 6.20. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş kayıp enerji (\dot{Q}_d) değerleri.

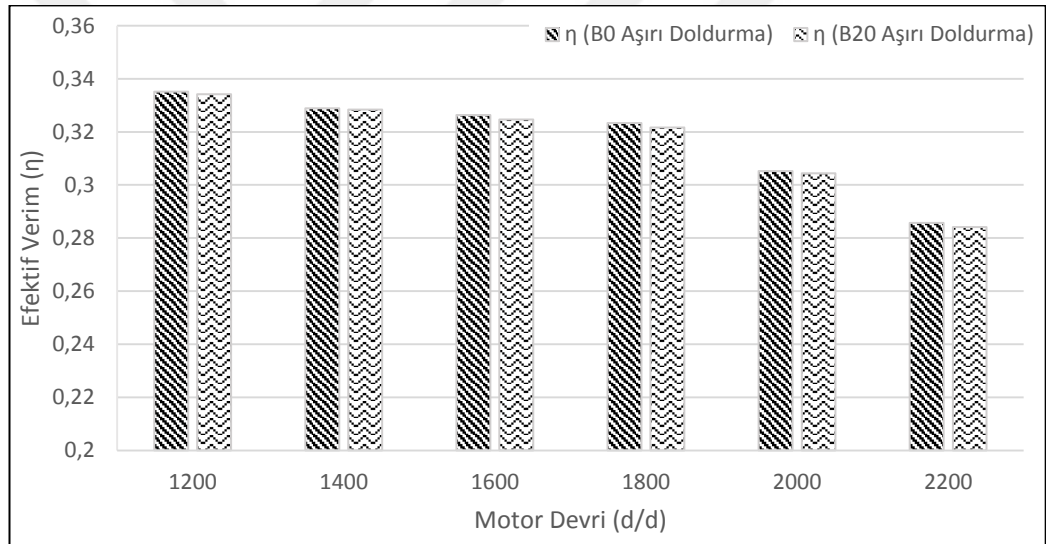


Şekil 6.21. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma kayıp enerji (\dot{Q}_a) değerleri.

Şekil 6.22. ve 6.23'te elde edilen veriler ile hesaplanan efektif verim (η) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için efektif verimin (η) maksimum değerini 1200 d/d'da aldığı ve devir sayısındaki artışa ters yönde arttığı görülmüştür. Doğal emiş durumundaki motorda biyodizel kullanılması durumunda bütün devirlerde dizel kullanımına kıyasla efektif verim değerlerinde artışların olduğu görülürken, aşırı doldurma uygulanmış motorda biyodizel kullanıldığında efektif verim değerlerinde dizel yakıtına göre azalmaların olduğu tespit edilmiştir. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama efektif verim değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 0,28 ve 0,3 olarak, aşırı doldurma durumu için 0,317 ve 0,316 olarak elde edilmiştir. Aşırı doldurma durumunda, doğal emiş durumuna göre efektif verim değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Doğal emiş durumunda B20 yakıtının B0 yakıtına kıyasla efektif verim değerlerinde %5,27 artış tespit edilirken, aşırı doldurma uygulanması durumunda B0 yakıtının B20 yakıtına kıyasla efektif verim değerlerinde %0,315 artış tespit edilmiştir.



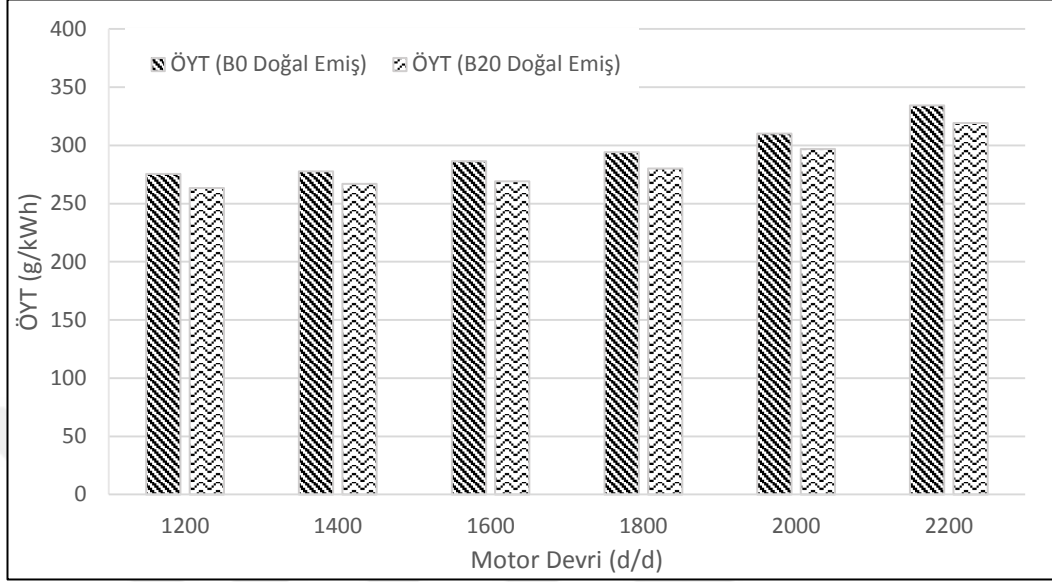
Şekil 6.22. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş efektif verim (η) değerleri.



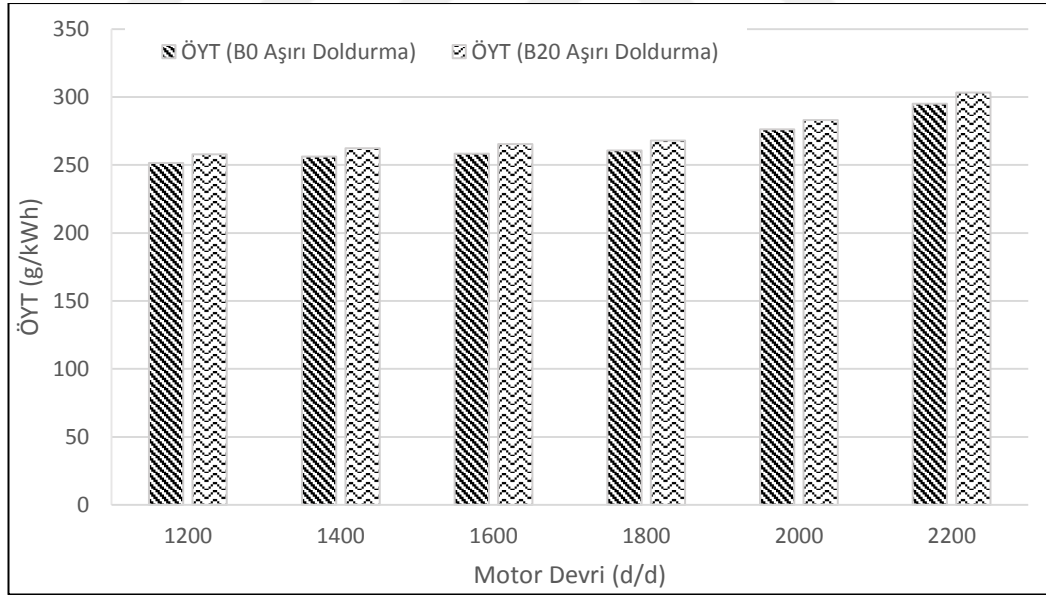
Şekil 6.23. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma efektif verim (η) değerleri.

Şekil 6.24. ve 6.25'te elde edilen veriler ile hesaplanan özgül yakıt tüketimi değerleri doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için gösterilmiştir. Tüm durumlar ve yakıtlar için ÖYT minimum değerini 1200 d/d'da almıştır. ÖYT'de doğal emiş motorunda B20 kullanımında B0 kullanımına göre %4,1 azalma görülürken, aşırı doldurma uygulanmış motorda B0 kullanımında B20 kullanımına göre %2,63 azalma tespit edilmiştir. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama ÖYT değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 296 g/kWh ve 284 g/kWh olarak, aşırı doldurma durumu için 266 g/kWh ve 273 g/kWh olarak elde edilmiştir. Bölüm 2.2.'de belirtildiği gibi özgül yakıt tüketim değerleri kıyas edildiğinde; aşırı doldurmalı bir

dizel motorunun tüketim değeri doğal emiş durumundaki motora kıyasla daha düşük değerlere sahiptir



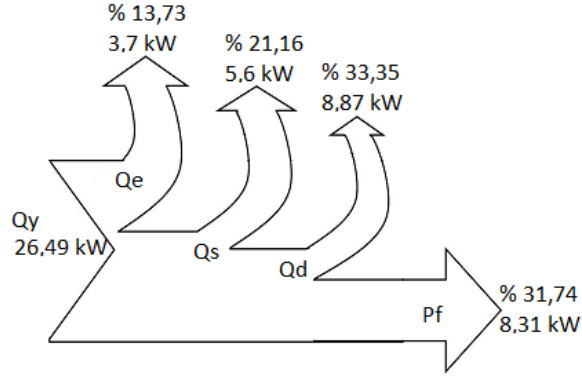
Şekil 6.24. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş özgül yakıt tüketimi değerleri.



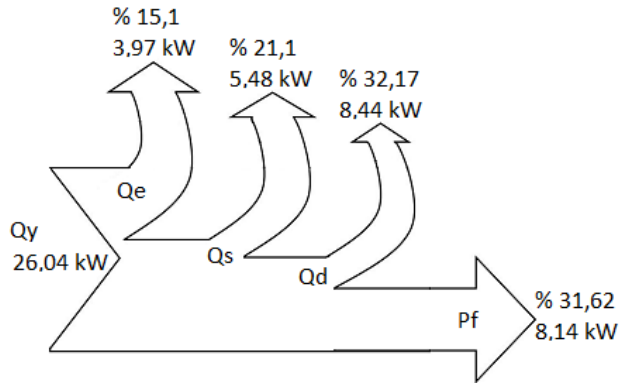
Şekil 6.25. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma özgül yakıt tüketimi değerleri.

Elde edilen enerji analizi sonuçları her bir yakıt türü için bütün devirlerin ortalaması olarak Şekil 6.26. - 6.27.'de görülen Sankey (Enerji) Diyagramları ile verilmiş, enerji yüzdeleri diyagramlarda gösterilmiştir. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD) ve B20 yakıt türleri için elde edilen yakıt enerji miktarı doğal emiş durumu

için sırasıyla 26,53 kW ve 26,58 kW, aşırı doldurma durumu için sırasıyla 26,49 kW ve 26,04 kW olarak hesaplanmıştır. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD) ve B20 yakıt türleri için elde edilen efektif güç değerleri doğal emiş durumu için sırasıyla %28,6 ve %30,43, aşırı doldurma durumu için sırasıyla %31,74 ve %31,62 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.26. Tüm devir sayılarında B0 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.



Şekil 6.27. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.

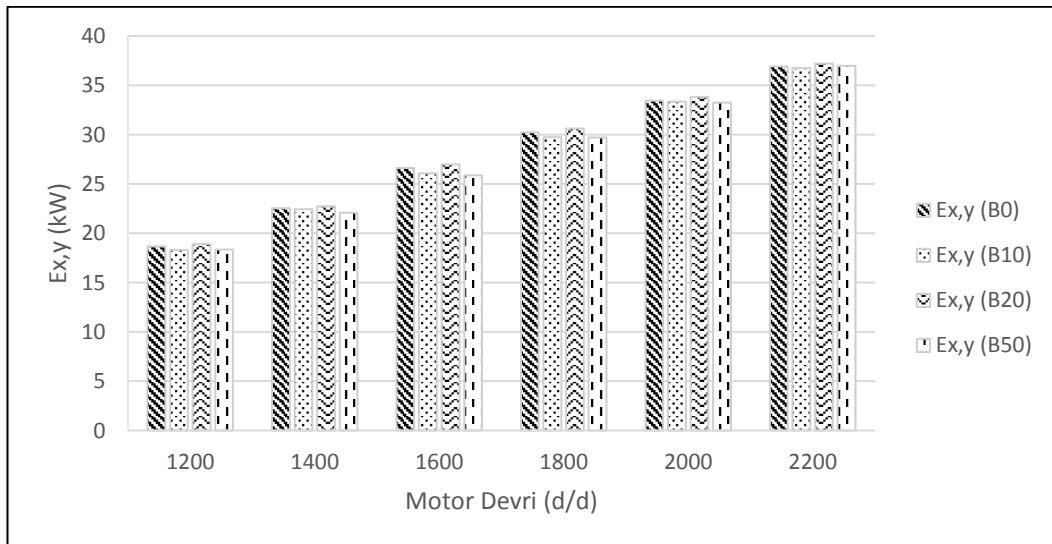
6.2. Ekserji Analizi

6.2.1. Motorun doğal emiş durumunda B0 - B10 - B20 - B50 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu

Bu bölümde; doğal emiş durumundaki deney motorunun, B0 – B10 – B20 – B50 yakıtları ile, 1200 d/d ile 2200 d/d arasında 6 farklı devir sayısı için, tam yük

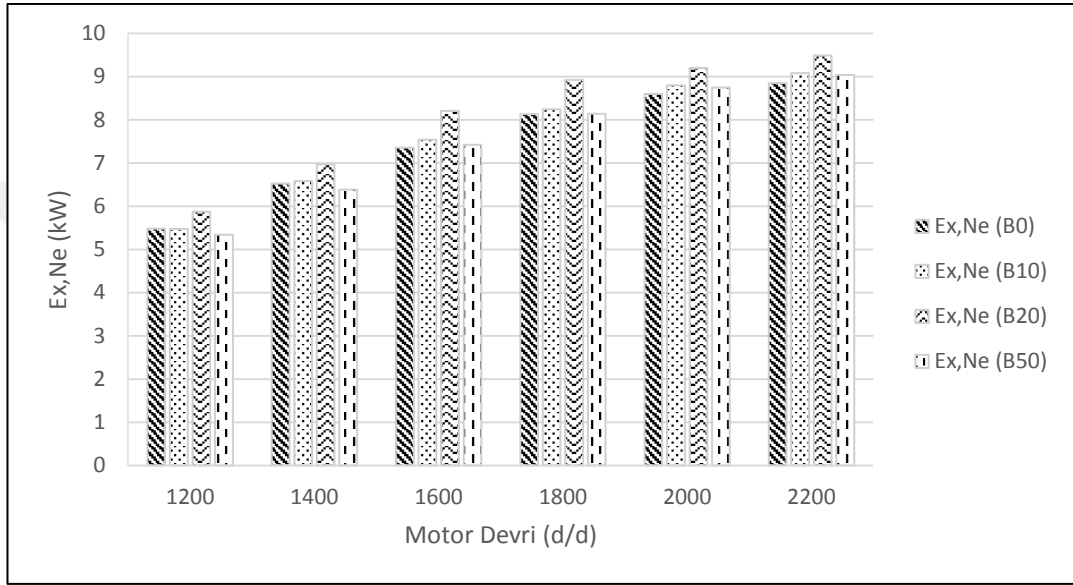
şartlarında çalıştırılması durumu için elde edilen ekserji analizi sonuçları grafiklerle verilmiştir.

Şekil 6.28.'de yakıt ekserjisi ($\dot{E}x_{yakıt}$) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Yakıt ekserji değerinin, özgül yakıt ekserjisi değeri ve yakıtın kütsel debisinin bir fonksiyonu olması nedeniyle yakıt enerji değeri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yakıt ekserjisi değerinin bir diğer parametresi olan kimyasal ekserji faktörünün, birden büyük olması yakıt ekserjisi değerinin yakıt enerjisi değerinden büyük olmasını desteklemektedir. Tüm yakıt türleri için $\dot{E}x_{yakıt}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için ortalama $\dot{E}x_{yakıt}$ değerleri sırası ile 28,074 kW, 27,793 kW, 28,388 kW, 27,716 kW olarak elde edilmiştir. En yüksek $\dot{E}x_{yakıt}$ değerinin, yakıt enerji değerinde olduğu gibi B20 yakıtına ait olduğu görülmüştür. Devir sayısı açısından değerlendirildiğinde, tüm yakıtlar için $\dot{E}x_{yakıt}$ değeri, devir sayısı arttıkça artış göstermiştir. Alt ısı değerlerin ve kimyasal ekserji faktörlerinin motor devir sayısından bağımsız değişkenler olduğu düşünülerek, yakıt ekserjisi değerinin motor devrine bağılı olarak artışını devir sayısı arttıkça yakıtın kütsel debisinin artışına bağlamak mümkündür.



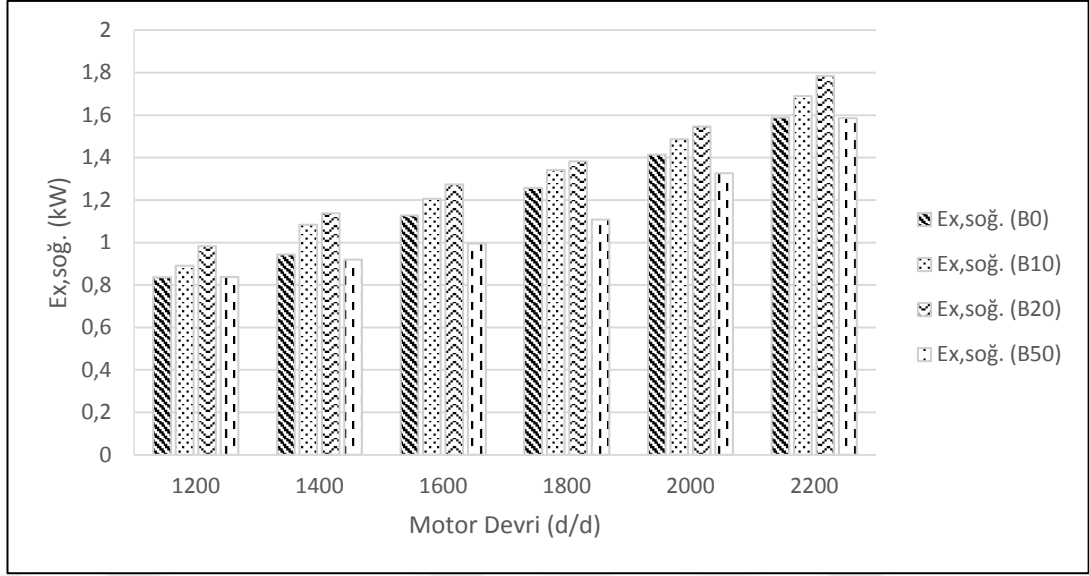
Şekil 6.28. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için yakıt ekserjisi ($\dot{E}x_{yakıt}$) değerleri.

Şekil 6.29.'da elde edilen net ekserjeteik güç ($\dot{E}x_{Ne}$)değerlerinde meydana gelendeğişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için $\dot{E}x_{Ne}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. Net ekserjetik güç değerleri, efektif güç değerlerine eşit olduğu olduğu için efektif güç değerleri için yapılan değerlendirmeler net ekserjetik güç için de geçerlidir. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{E}x_{Ne}$ değerleri sırası ile 7,48 kW, 7,63 kW, 8 kW, 7,61 kW olarak elde edilmiştir.



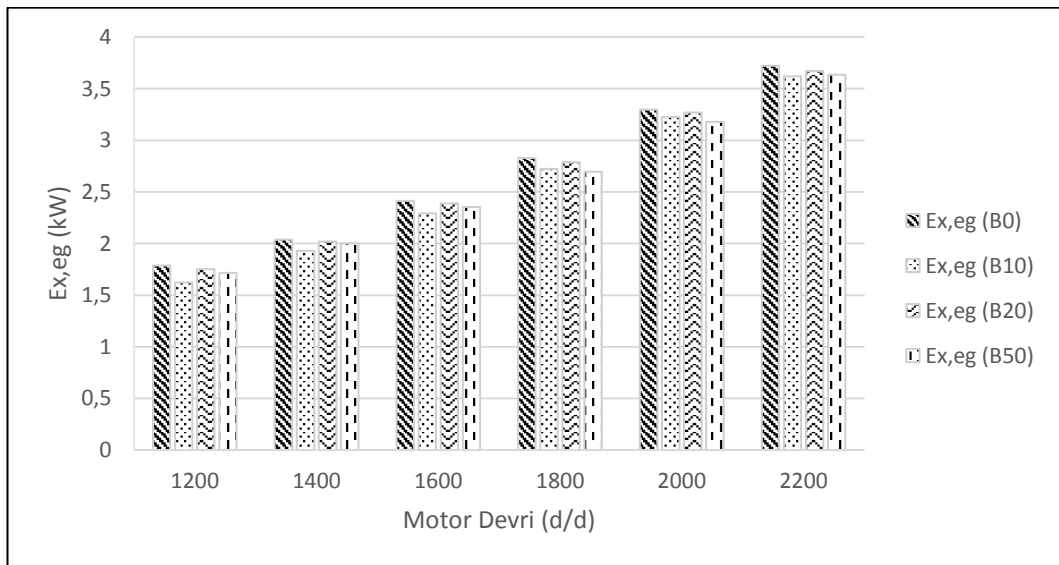
Şekil 6.29. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için net ekserjetik güç ($\dot{E}x_{Ne}$) değerleri.

Şekil 6.30.'da elde edilen soğutucu akışkan ekserji ($\dot{E}x_{soğ.}$) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için $\dot{E}x_{soğ.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. Birim zamanda soğutucu akışkana geçen enerji değerlerinde olduğu gibi motor devir sayısı arttıkça ekserji değerinde de artış göstermiştir. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{E}x_{soğ.}$ değerleri sırası ile 1,19 kW, 1,28 kW, 1,35 kW, 1,12 kW olarak elde edilmiştir. Sayın (2014), yaptığı çalışmasında soğutma suyu ekserjisinin maksimum değerinin farklı yakıtlar için elde edilmiş olmasını motor soğutma suyu sıcaklıklarının değişken olmasına bağlamanın mümkün olduğunu ifade etmiştir.



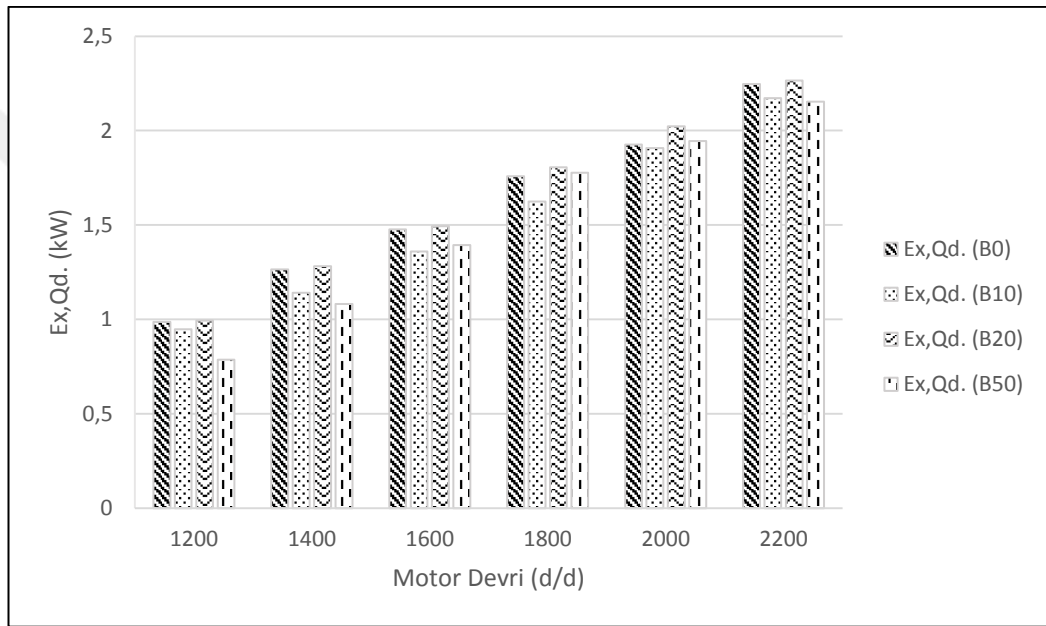
Şekil 6.30. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için soğutucu akışkan ekserjisi ($\dot{E}x_{soğ.}$) değerleri.

Egzoz gazlarının taşıdığı ısı enerjisinin faydalı kısmı olarak ifade edilen egzoz ekserjisi değerinde meydana gelen değişimler Şekil 6.31.'de görülmektedir. $\dot{E}x_{eg.}$ değerleri, egzoz enerjisi değerlerinde olduğu gibi egzoz gaz sıcaklıklarında ve NO_x emisyon değerlerinde meydana gelen artışa bağlı olarak artış göstermektedir. Tüm yakıtlar için $\dot{E}x_{eg.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{E}x_{eg.}$ değerleri sırası ile 2,68 kW, 2,56 kW, 2,64 kW, 2,59 kW olarak elde edilmiştir.



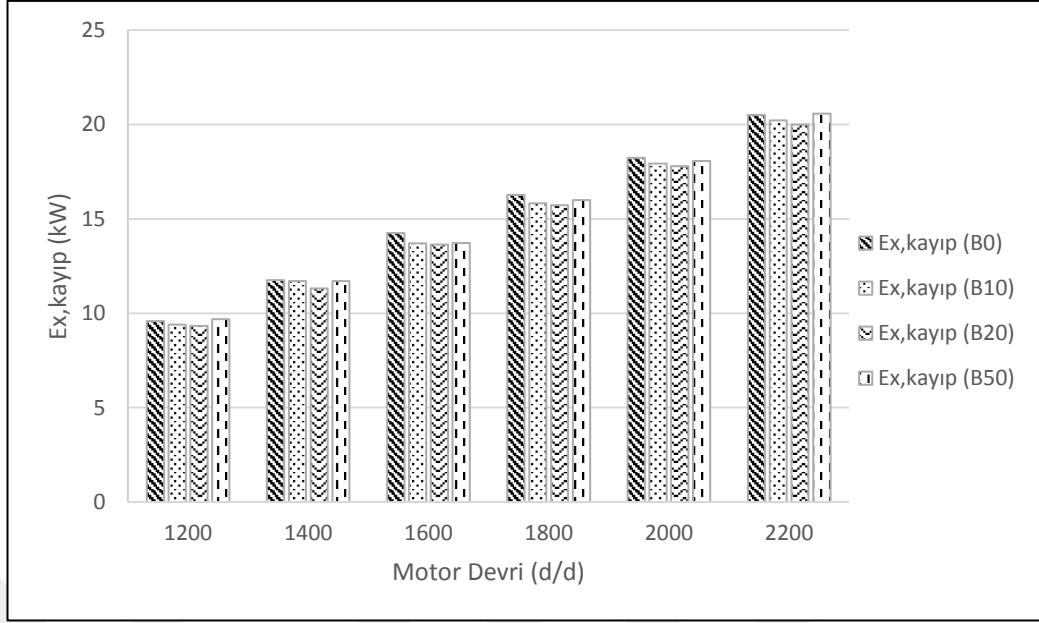
Şekil 6.31. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için egzoz ekserjisi ($\dot{E}x_{eg.}$) değerleri.

Şekil 6.32.'de elde edilen toplam kayıplar ekserjisi ($\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için $\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için ortalama $\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$ değerleri sırası ile 1,6 kW, 1,52 kW, 1,64 kW, 1,52 kW olarak elde edilmiştir. Enerji değerlerinde görülen düzensiz \dot{Q}_d Dağılımı ekserji analizi ile daha doğru ve net bir şekilde istikrarlı olacak şekilde elde edilmiştir. Bu da, ekserji analizinin önemini ortaya çıkarmaktadır.



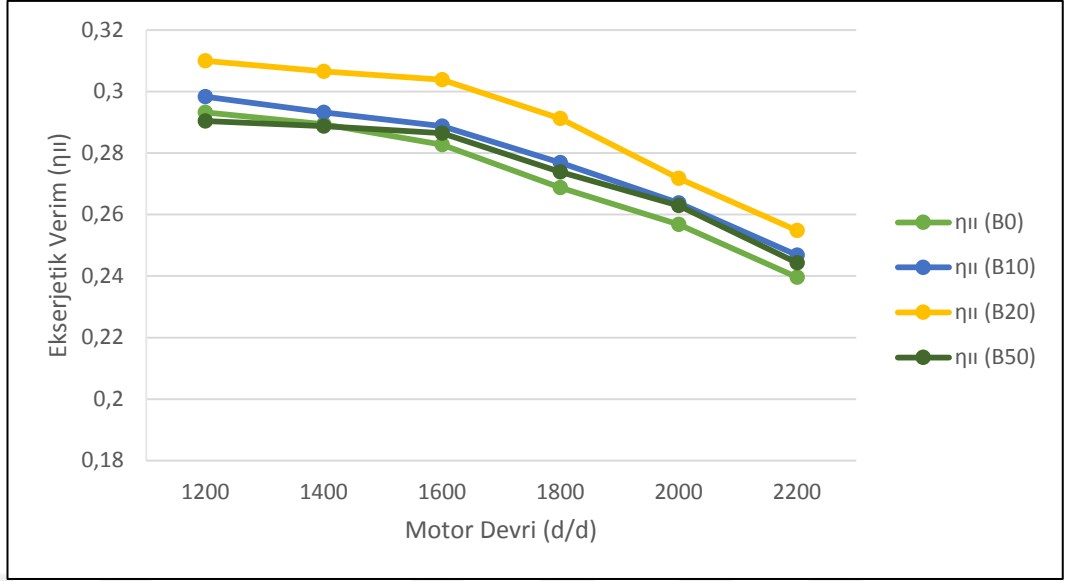
Şekil 6.32. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için toplam kayıplar ekserjisi ($\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$) değerleri.

Kimyasal tepkimenin meydana gelmesi esnasında farklı türdeki reaktantların karışması, farklı türlerin meydana gelmesi, farklı sıcaklıkta olan moleküllerin arasında ısı geçişi, yanma ve sürtünme prosesleri ve gazların genişmesi, silindir içindeki türbülanslı akış gibi tersinmez proseslerin sonucu olan kayıp ekserji ($\dot{E}x_{kayıp}$) değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 6.33.'te görülmektedir (Zheng ve Caton, 2012). Tüm yakıtlar için $\dot{E}x_{kayıp}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için ortalama $\dot{E}x_{kayıp}$ değerleri sırası ile 15,1 kW, 14,79 kW, 14,63 kW, 14,95 kW olarak elde edilmiştir.

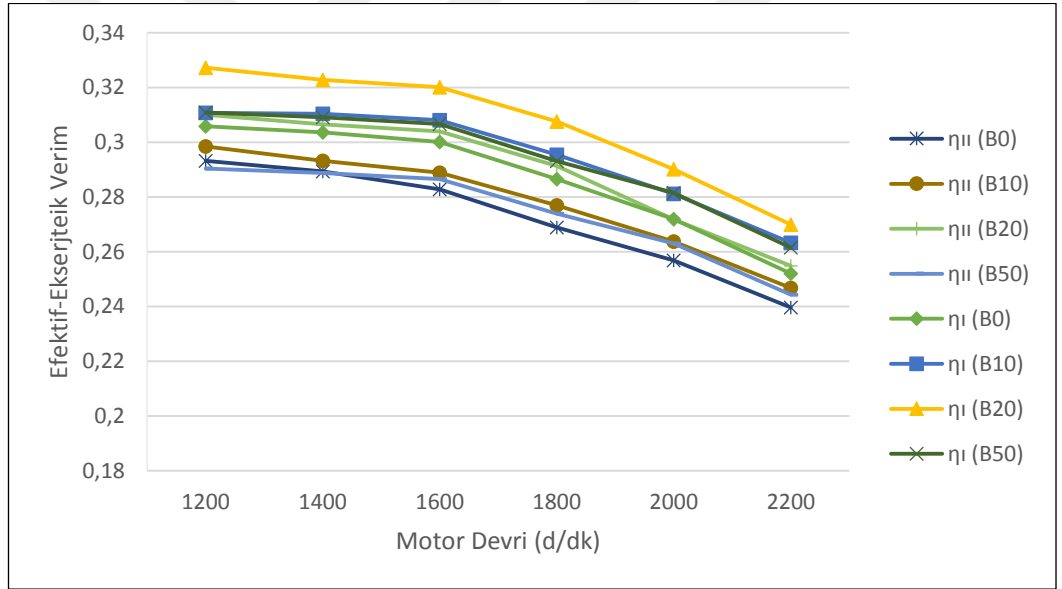


Şekil 6.33. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için yok olan ekserji ($\dot{E}x_{kayıp}$) değerleri.

Şekil 6.34.'te elde edilen veriler ile hesaplanan ekserjetik verim (η_{II}) değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Tüm yakıtlar için efektif verim (η_{II}) maksimum değerini 1200 d/d'da almıştır. Şekilden de görüldüğü gibi ekserjetik verim değerlerindeki değişimler, efektif verimdeki değişimlere paralel bir yol izlemiştir. Efektif verimde olduğu gibi, ekserjetik verimdeki azalma eğiliminin motor torkunun artış gösterdiği devir sayısına denk geldiği görülmüştür, bu durumu efektif verimdekine benzer şekilde mekanik sürtünmelerin devir sayısına bağlı olarak artması ve yanma sürelerinin kısalması ile açıklayabiliriz. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama ekserjetik verim değerleri sırası ile 0,27, 0,27, 0,29, 0,27 olarak elde edilmiştir. Tüm devir sayılarında maksimum η_{II} değerini B20 yakıtı için almıştır. Motora giren yakıt enerjisine kıyasla, daha yüksek oranda yakıt ekserjisi değeri kullanıldığından ekserjetik verim değerleri, efektif verim değerlerinden daha düşük olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.35.'te görüldüğü gibi ekserjetik verim değerleri, efektif verim değerlerinden B0, B10, B20, B50 yakıtları için sırasıyla yaklaşık olarak %6,9, %6,9, %3,33, %6,9 daha düşüktür.

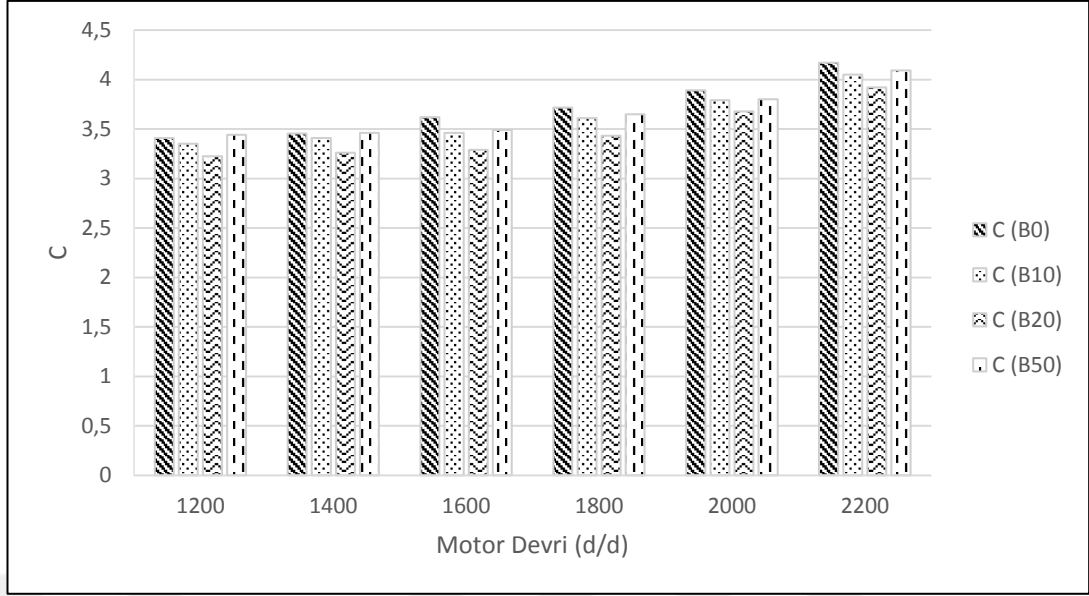


Şekil 6.34. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için ekserjetik verim (η_{II}) değerleri.



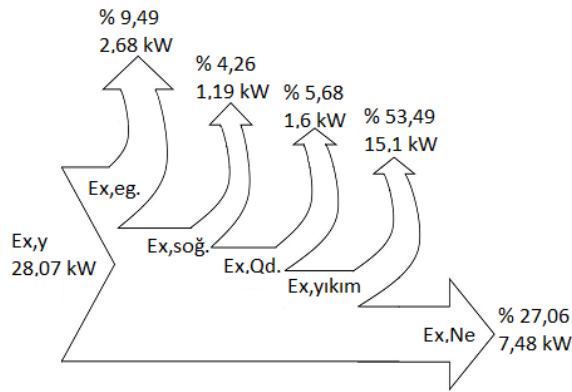
Şekil 6.35. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için efektif verim (η) – ekserjetik verim (η_{II}) karşılaştırması.

Şekil 6.36.'da elde edilen veriler ile hesaplanan birim ekserji maliyeti değerleri gösterilmiştir. Tüm yakıtlar için C maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. C değerlerinde B10 ve B20 kullanımında C değerleri için diğer karışım oranlarına göre azalma görülmüştür. Bunun nedeni olarak, biyodizel yakıtlarda net ekserjetik güç değerlerinin dizel yakıtta oranla artması düşünülmektedir. B0, B10, B20 ve B50 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama C değerleri sırası ile 3,65, 3,61, 3,46, 3,71 olarak elde edilmiştir.

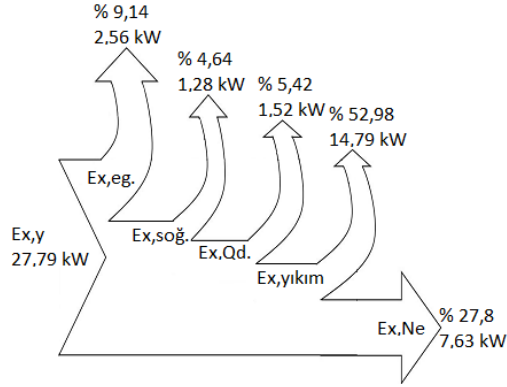


Şekil 6.36. Tüm devir sayıları ve yakıt türleri için birim ekserji maliyeti (C) değerleri.

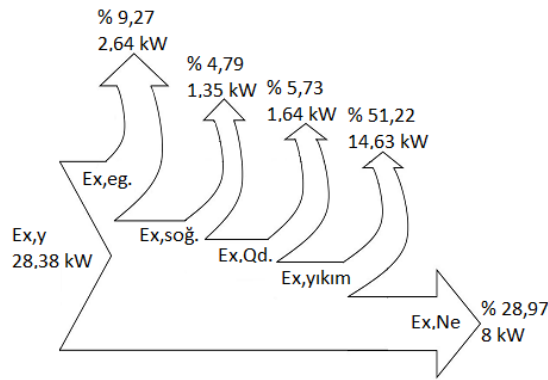
Elde edilen ekserji analizi sonuçları her bir yakıt türü için bütün devirlerin ortalaması olarak Şekil 6.37.- 6.40.'ta görülen Sankey Diyagramları ile verilmiş, ekserji yüzdeleri diyagramlarda gösterilmiştir. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD), B10, B20, B50 yakıt türleri için elde edilen yakıt ekserji miktarı sırasıyla 28,07 kW, 27,79 kW, 28,38 kW, 27,71 kW olarak hesaplanmıştır. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD), B10, B20, B50 yakıt türleri için elde edilen net ekserjetik güç değerleri sırasıyla %27,06, %27,8, %28,97, %27,44 olarak hesaplanmıştır.



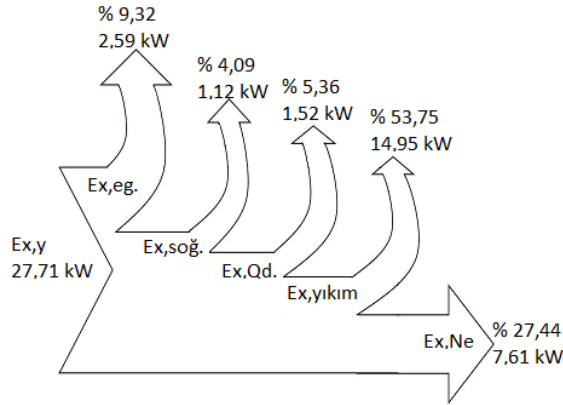
Şekil 6.37. Tüm devir sayılarında B0 (STD) yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.



Şekil 6.38. Tüm devir sayılarında B10 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.



Şekil 6.39. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.



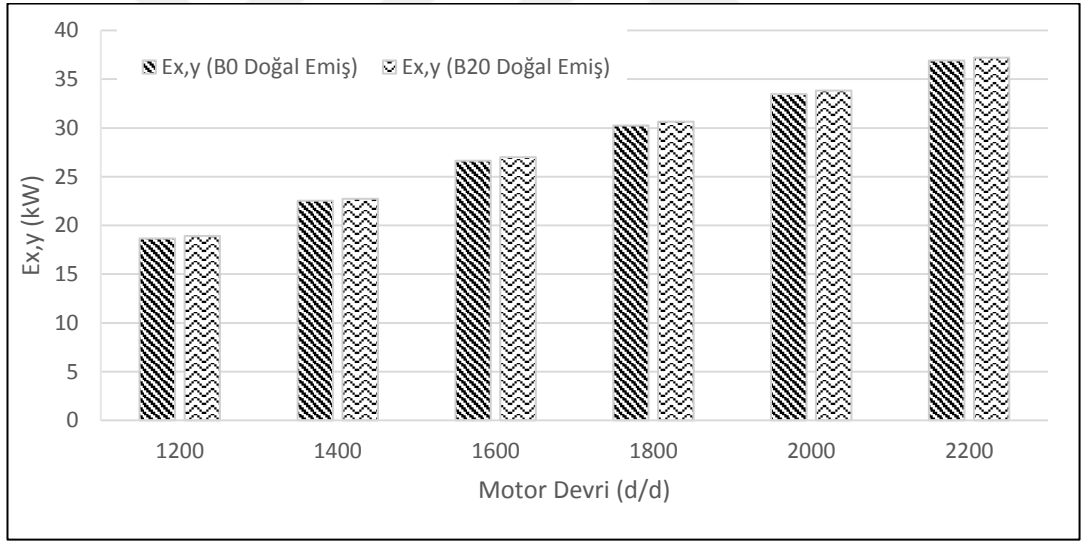
Şekil 6.40. Tüm devir sayılarında B50 yakıtı için ortalama değerlerin Sankey diyagramları.

6.2.2. Motorun aşırı doldurma uygulaması durumunda B0 - B20 yakıtları ile tam yük şartında çalıştırılması durumu

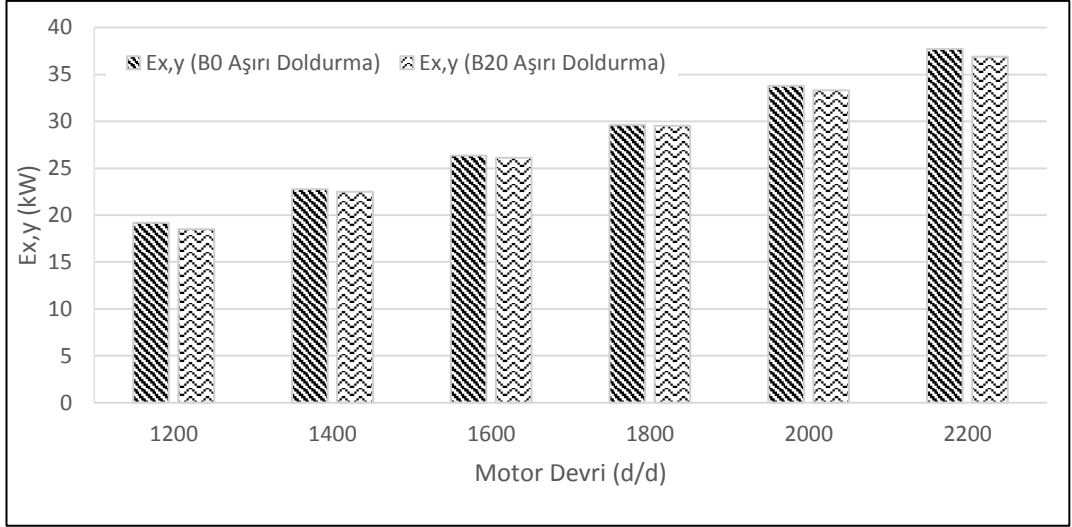
Bu bölümde; aşırı doldurma durumundaki deney motorunun, B0 – B20 yakıtları ile, 1200 d/d ile 2200 d/d arasında 6 farklı devir sayısı için, tam yük şartlarında

çalıştırılması durumu için elde edilen ekserji analizi sonuçları doğal emiş durumundaki motor ile kıyas edilerek grafiklerle verilmiştir.

Şekil 6.41. ve 6.42.'de elde edilen yakıt ekserjisi ($\dot{E}x_{yakıt}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş motor ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{E}x_{yakıt}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. Yakıt ekserji değerinin, yakıtın alt ısı değeri ve kütleli debisinin bir fonksiyonu olması nedeniyle her iki durum için de yakıt enerji değeri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek $\dot{E}x_{yakıt}$ değerinin, doğal emiş durumunda yakıt enerji değerinde olduğu gibi B20 yakıtına ait olduğu görülürken, aşırı doldurma uygulaması durumunda B0 yakıtına ait olduğu tespit edilmiştir. B0 ve B20 yakıtları için ortalama $\dot{E}x_{yakıt}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 28,07 kW ve 28,38 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 28,24 kW ve 27,8 kW olarak elde edilmiştir.

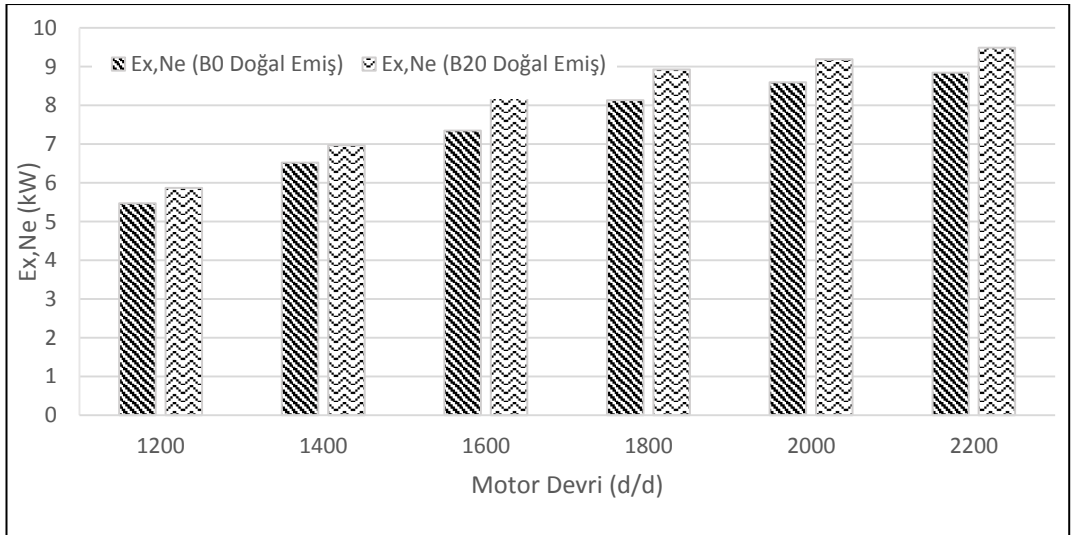


Şekil 6.41. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için doğal emiş yakıt ekserjisi ($\dot{E}x_{yakıt}$) değerleri.

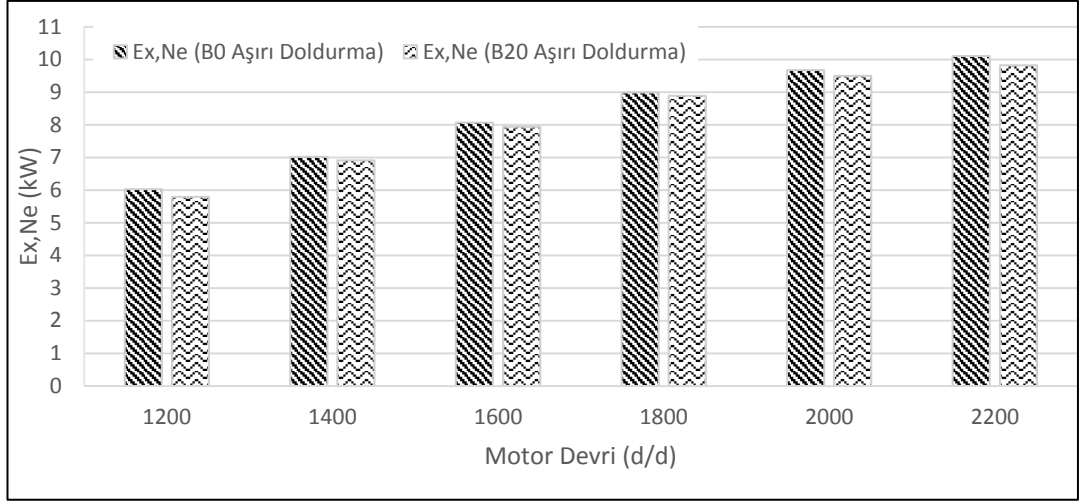


Şekil 6.42. Tüm devir sayıları ve B0 - B20 yakıtları için aşırı doldurma yakıt ekserjisi ($\dot{E}x_{yakıt}$) değerleri.

Şekil 6.43. ve 6.44.'te elde edilen net ekserjetik güç ($\dot{E}x_{Ne}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{E}x_{Ne}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{E}x_{Ne}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 7,48 kW ve 8 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 8,31 kW ve 8,14 kW olarak elde edilmiştir. Doğal emiş durumunda en yüksek $\dot{E}x_{Ne}$ değeri B20 yakıtına aitken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtına ait olduğu görülmüştür.

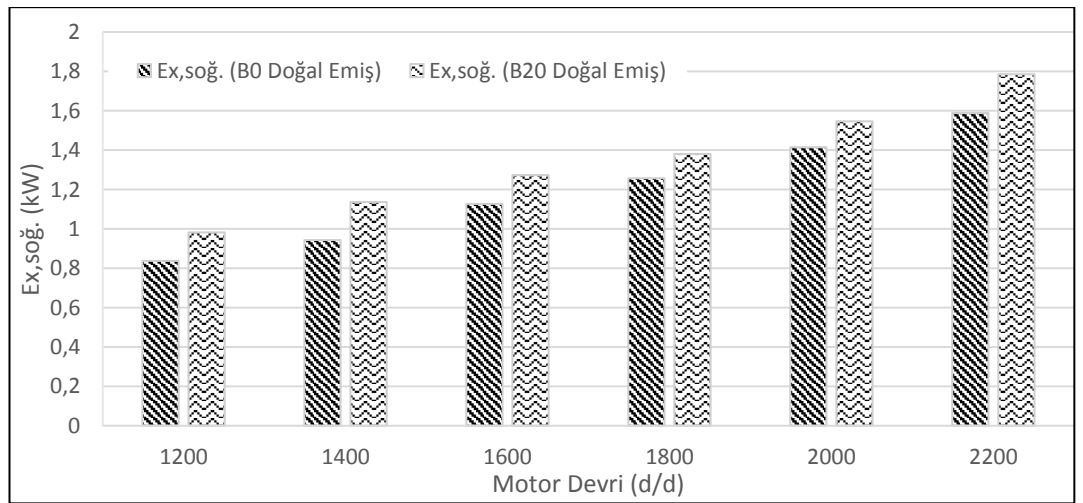


Şekil 6.43. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş net ekserjetik güç ($\dot{E}x_{Ne}$) değerleri.

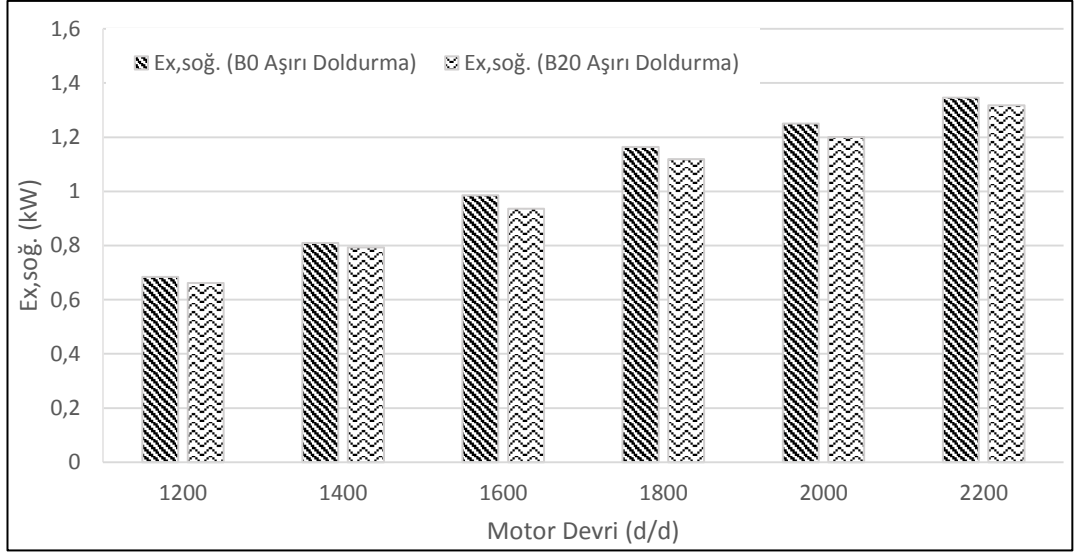


Şekil 6.44. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma net ekserjetik güç ($\dot{E}x_{Ne}$) değerleri.

Şekil 6.45. ve 6.46.'da elde edilen birim zamanda soğutucu akışkana ekserji ($\dot{E}x_{soğ.}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{E}x_{soğ.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{E}x_{soğ.}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 1,19 kW ve 1,35 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 1,03 kW ve 1 kW olarak elde edilmiştir. Doğal emiş durumunda en yüksek $\dot{E}x_{soğ.}$ değeri B20 yakıtına aitken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtına ait olduğu görülmüştür.

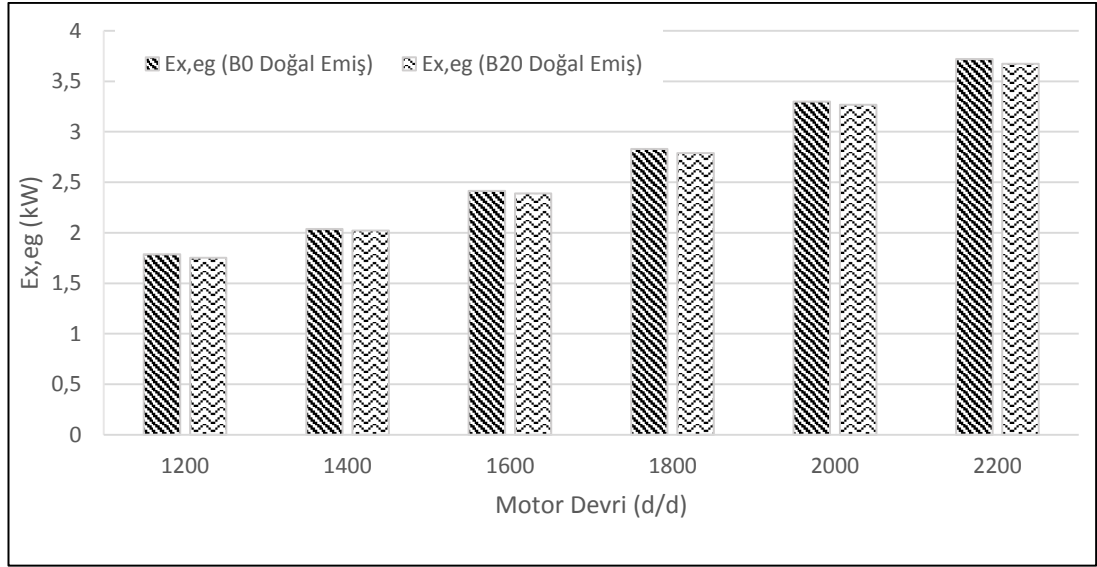


Şekil 6.45. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{E}x_{soğ.}$) değerleri.

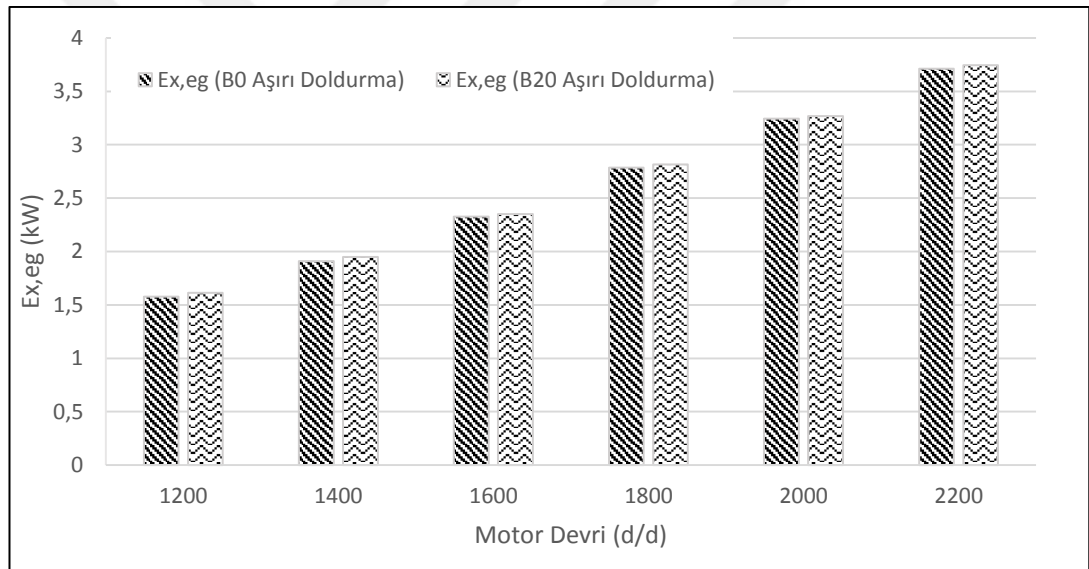


Şekil 6.46. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma soğutucu akışkana geçen enerji ($\dot{E}x_{soğ.}$) değerleri.

Egzoz gazlarının taşıdığı ısı enerjisinin faydalı kısmı olarak ifade edilen egzoz ekserjisi ($\dot{E}x_{eg.}$) değerinde meydana gelen değişimler Şekil 6.47. ve 6.48.'de doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{E}x_{eg.}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için tüm devirlere ait ortalama $\dot{E}x_{eg.}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 2,68 kW ve 2,64 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 2,59 kW ve 2,62 kW olarak elde edilmiştir. Motora aşırı doldurma uygulanması sırasında egzoz gazı içerisindeki NO_x emisyonlarında yaşanan düşüş enerji değerlerinde olduğu gibi, B0 yakıtının B20 yakıtına kıyasla daha düşük egzoz gaz sıcaklıklarına ve egzoz enerji değerlerine sahip olmasını sağlamıştır.

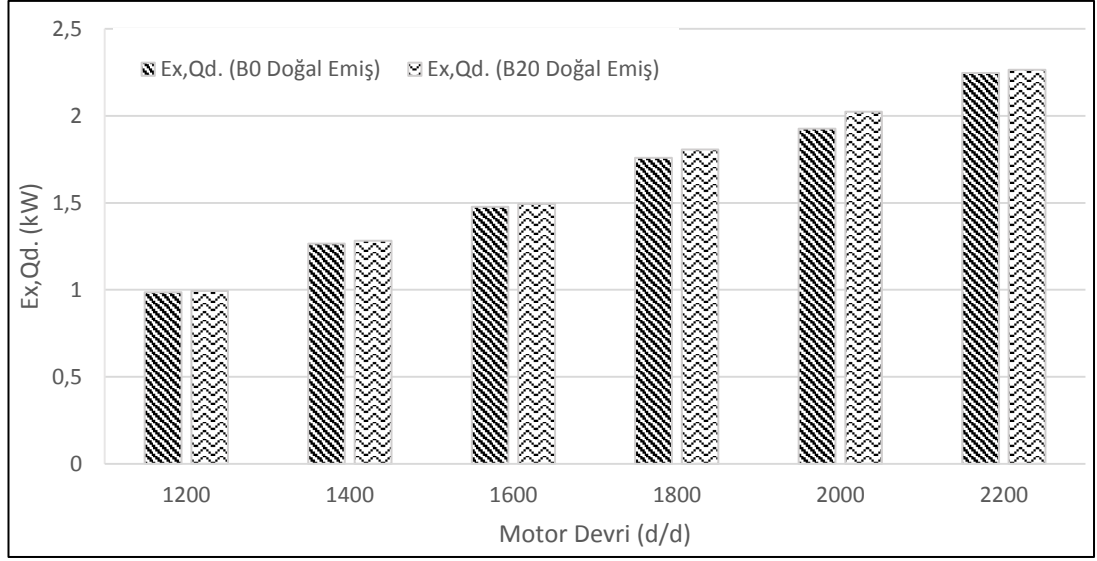


Şekil 6.47. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş egzoz ekserjisi ($\dot{E}x_{eg}$) değerleri.

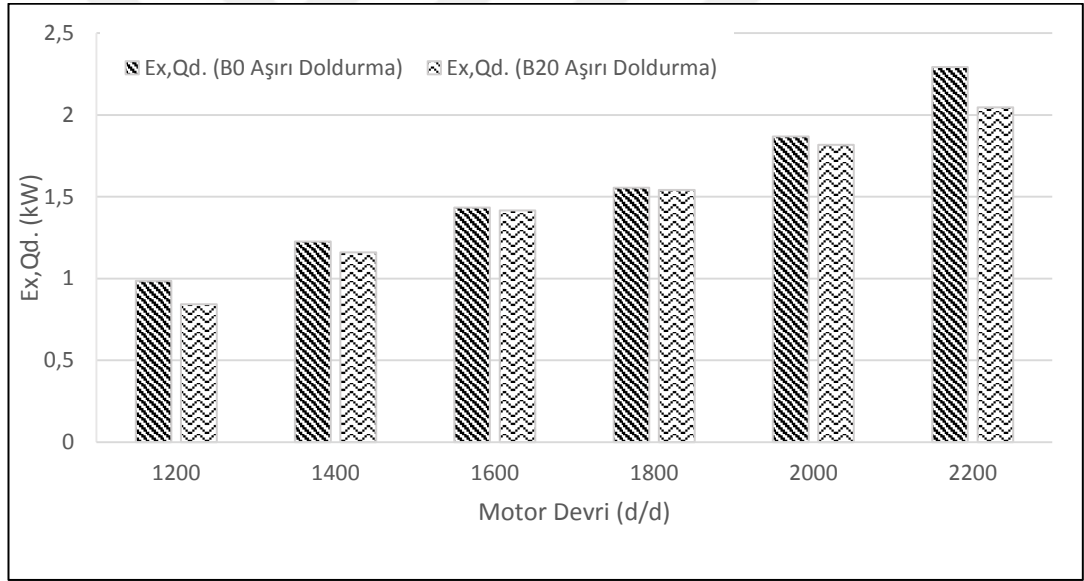


Şekil 6.48. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma egzoz ekserjisi ($\dot{E}x_{eg}$) değerleri.

Şekil 6.49. ve 6.50.'de elde edilen toplam kayıplar ekserjisi ($\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için ortalama $\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 1,6 kW ve 1,64 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 1,55 kW ve 1,47 kW olarak elde edilmiştir.

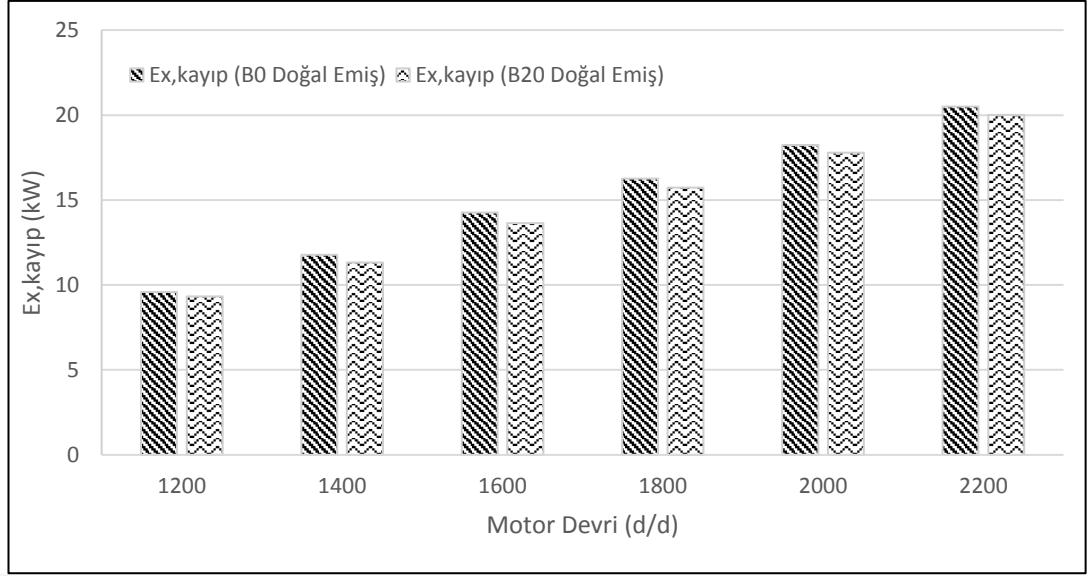


Şekil 6.49. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş toplam kayıplar ekserjisi ($\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$) değerleri.

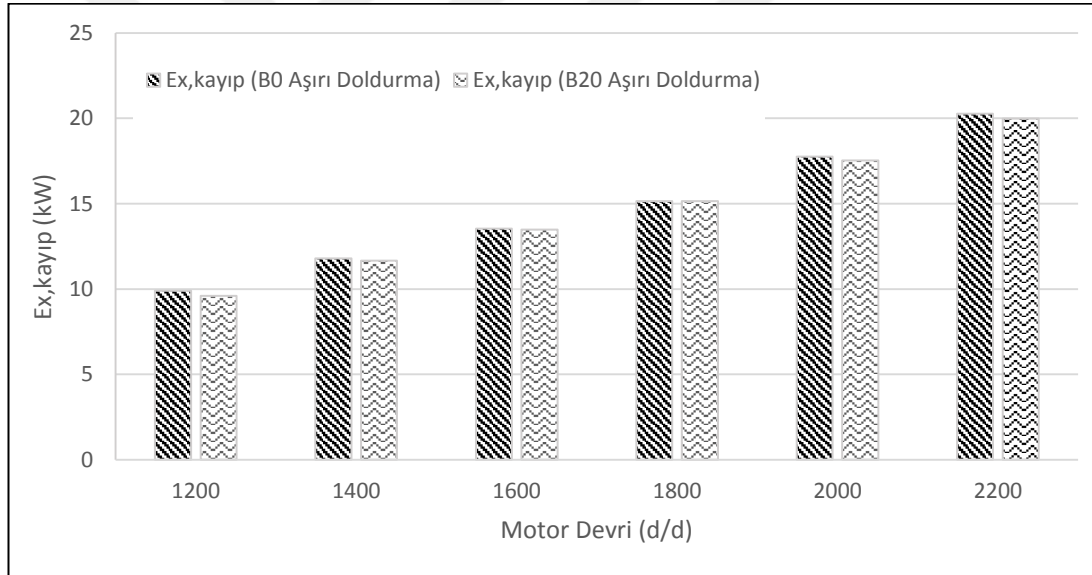


Şekil 6.50. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma toplam kayıplar ekserjisi ($\dot{E}x_{\dot{Q}_d}$) değerleri.

Şekil 6.51. ve 6.52.'de elde edilen yok olan ekserji ($\dot{E}x_{kayıp}$) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için $\dot{E}x_{kayıp}$ maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için ortalama $\dot{E}x_{kayıp}$ değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 15,1 kW ve 14,63 kW olarak, aşırı doldurma durumu için 14,73 kW ve 14,56 kW olarak elde edilmiştir.



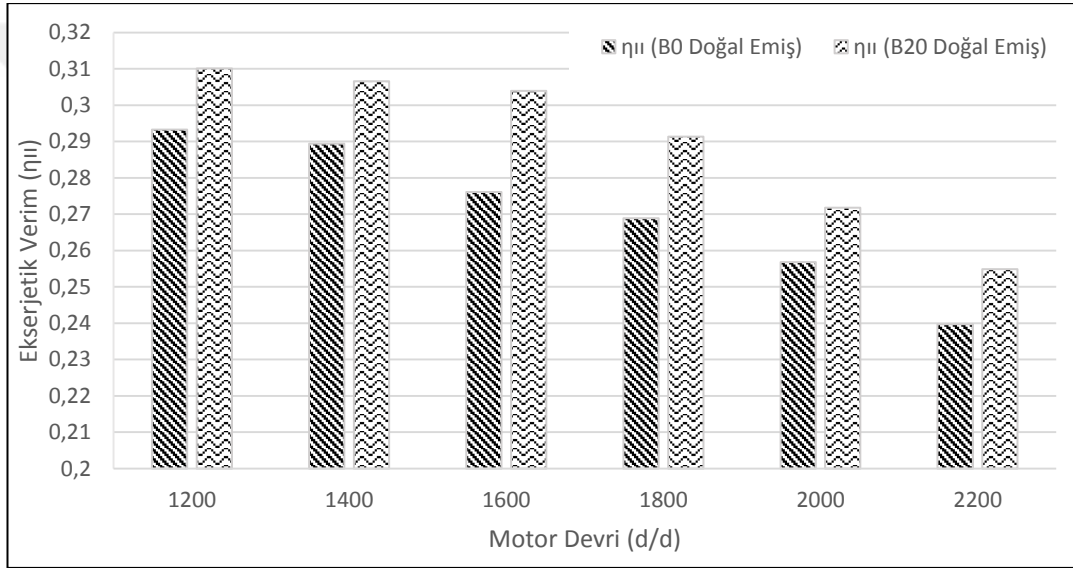
Şekil 6.51. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş yok olan ekserji ($\dot{E}x_{kayıp}$) değerleri.



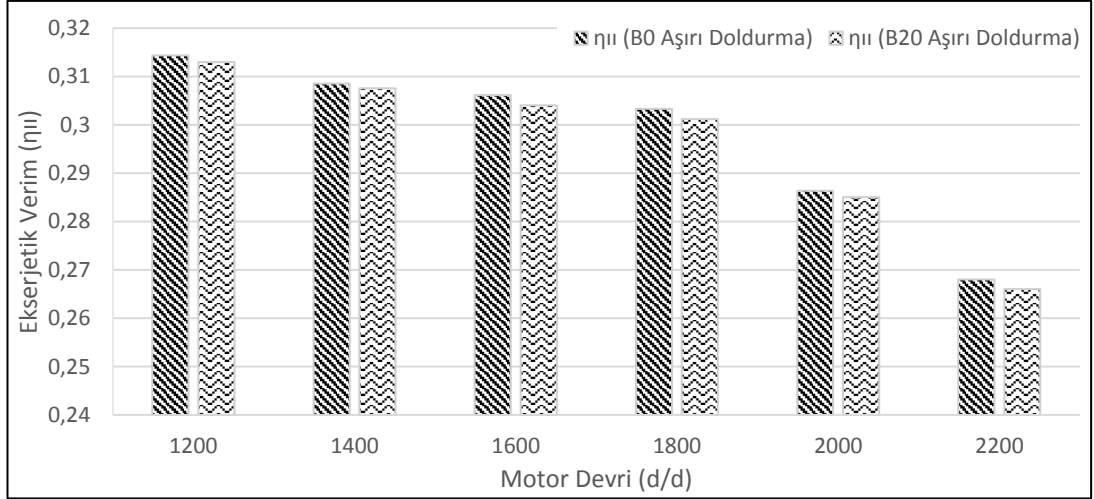
Şekil 6.52. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma yok olan ekserji ($\dot{E}x_{kayıp}$) değerleri.

Şekil 6.53. ve 6.54.'te elde edilen veriler ile hesaplanan ekserjetik verim (η_{u}) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için η_{u} maksimum değerini 1200 d/d'da aldığı ve devir sayısındaki artışa ters yönde arttığı görülmüştür. Doğal emişli motorda biyodizel kullanılması durumunda bütün devirlerde dizel kullanımına kıyasla efektif verim değerlerinde artışların olduğu görülürken, aşırı doldurma uygulanmış motorda biyodizel kullanıldığında efektif verim değerlerinde dizel

yakıtta göre azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, aşırı doldurma uygulanmış motorda B0 yakıtı için net ekserjetik güç değerlerinin fazla olması ile yorumlanabilir. B0 ve B20 yakıtları için ortalama η_u değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 0,27 ve 0,29 olarak, aşırı doldurma durumu için 0,297 ve 0,296 olarak elde edilmiştir. Aşırı doldurma durumunda, doğal emiş durumuna göre ekserjetik verim değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Doğal emiş durumunda B20 yakıtının B0 yakıtına kıyasla ekserjetik verim değerlerinde %7,4 artış tespit edilirken, aşırı doldurma uygulanması durumunda B0 yakıtının B20 yakıtına kıyasla efektif verim değerlerinde %0,32 artış tespit edilmiştir.

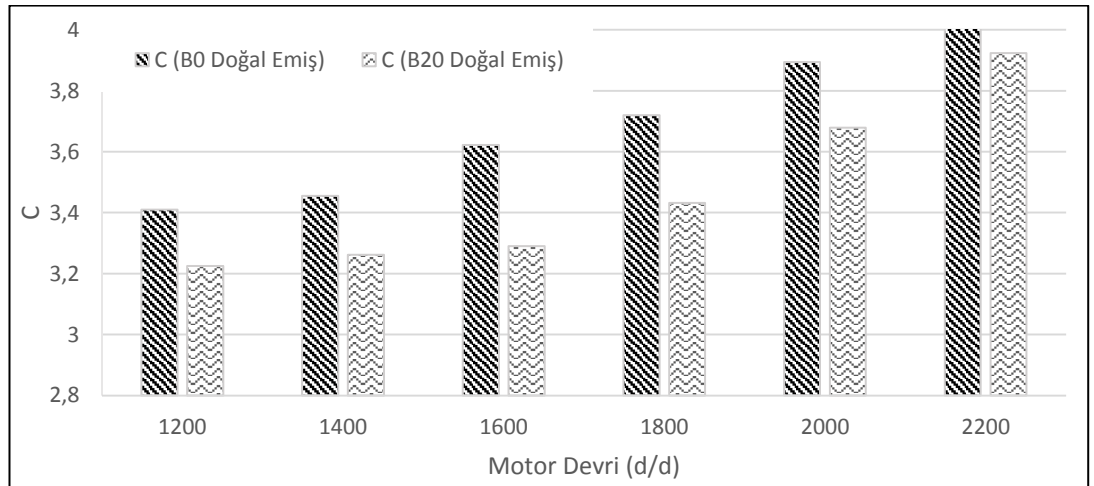


Şekil 6.53. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş ekserjetik verim (η_u) değerleri.

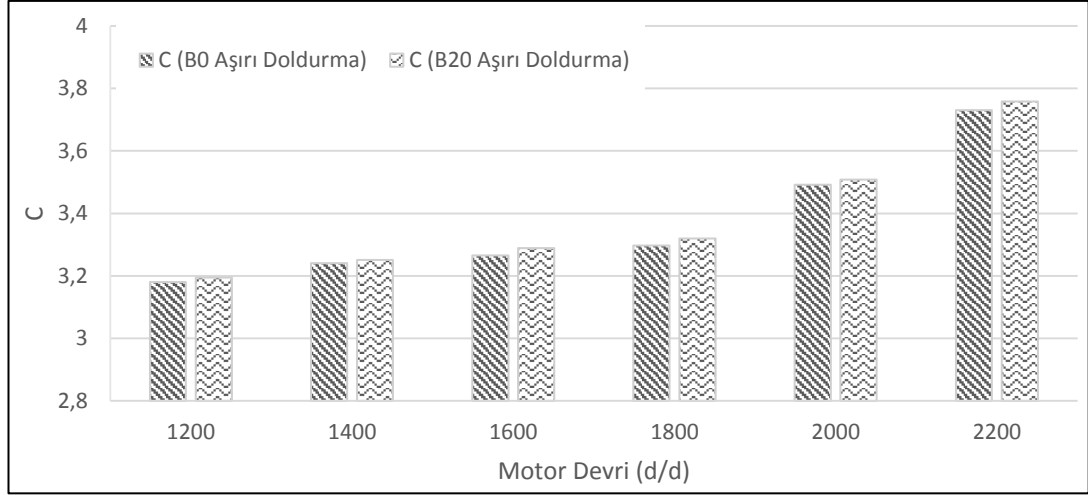


Şekil 6.54. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma ekserjetik verim (η_{II}) değerleri.

Şekil 6.55. ve 6.56.'da elde edilen veriler ile hesaplanan birim ekserji maliyeti (C) değerlerinde meydana gelen değişimler doğal emiş ve aşırı doldurma uygulanmış motor için görülmektedir. Tüm durumlar ve yakıtlar için C minimum değerini 1200 d/d'da almıştır. B0 ve B20 yakıtları için ortalama C değerleri sırası ile doğal emiş durumu için 3,71 ve 3,46 olarak, aşırı doldurma durumu için 3,36 ve 3,38 olarak elde edilmiştir. Bölüm 2.2.'de belirtildiği gibi aşırı doldurmalı bir dizel motorunun birim ekserji maliyeti doğal emiş durumundaki motora kıyasla daha düşük değerlere sahiptir.

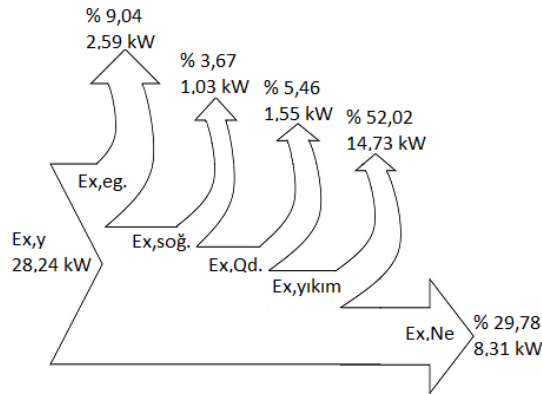


Şekil 6.55. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için doğal emiş birim ekserji maliyeti (C) değerleri.

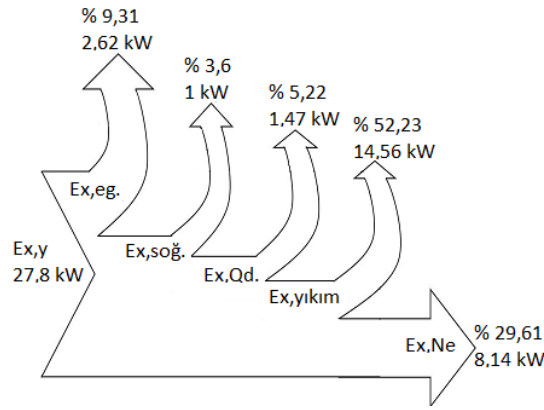


Şekil 6.56. Tüm devir sayıları ve B0-B20 yakıtları için aşırı doldurma birim ekserji maliyeti (C) değerleri.

Elde edilen ekserji analizi sonuçları her bir yakıt türü ve durum için bütün devirlerin ortalaması olarak Şekil 6.57. - 6.58.'te görülen Sankey Diyagramları ile verilmiş, ekserji yüzdeleri diyagramlarda gösterilmiştir. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD) ve B20 yakıt türleri için elde edilen yakıt ekserji miktarı doğal emiş durumu için sırasıyla 28,07 kW ve 28,38 kW, aşırı doldurma durumu için sırasıyla 28,24 kW ve 27,8 kW olarak hesaplanmıştır. Bütün devirlerin ortalaması olarak; B0 (STD) ve B20 yakıt türleri için elde edilen net ekserjetik güç değerleri doğal emiş durumu için sırasıyla %27,06 ve %28,97, aşırı doldurma durumu için sırasıyla %29,78 ve %29,61 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.57. Tüm devir sayılarında B0 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.



Şekil 6.58. Tüm devir sayılarında B20 yakıtı aşırı doldurma ortalama değerlerin Sankey diyagramı.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler ile yapılan enerji analiz çalışmaları neticesinde; doğal emiş durumunda B20 yakıtının B0 yakıtına, B10 ve B50 yakıtlarına kıyasla daha yakın olduğu ve alternatif olarak kullanılabilceği tespit edildi. B20 yakıtı kullanılması durumunda B0 yakıtına kıyasla giren yakıt enerjisi değerinde %0,2 artış gözlemlenirken, efektif güç değerinde %7 artış tespit edilmiştir. Efektif verim değerlerinde %5,27 artış tespit edilirken, özgül yakıt tüketimi değerlerinde %4,1 azalma gözlemlenmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler ile yapılan ekserji analiz çalışmaları neticesinde; doğal emiş durumunda enerji analizi sonuçlarına paralel sonuçlar tespit edilmiştir. B20 yakıtı kullanılması durumunda B0 yakıtına kıyasla giren yakıt ekserjisi değerinde %1 artış gözlemlenirken, net ekserjetik güç değerinde %7 artış tespit edilmiştir. Ekserjetik verim değerlerinde %7,4 artış tespit edilirken, birim ekserji maliyeti değerlerinde %6,7 azalma gözlemlenmiştir.

Aşırı doldurma uygulanmış deney motoru ile doğal emiş durumundaki motorun enerji analiz verileri kıyas edildiğinde; motora aşırı doldurma uygulanması durumunda doğal emiş durumuna kıyasla B0 yakıtının B20 yakıtına göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Aşırı doldurma durumunda; B0 yakıtı kullanılması durumunda B20 yakıtına kıyasla giren yakıt enerjisi değerinde %1,7 artış gözlemlenirken, efektif güç değerinde %2,05 artış tespit edilmiştir. Efektif verim değerlerinde %0,315 artış tespit edilirken, özgül yakıt tüketimi değerlerinde %2,63 azalma gözlemlenmiştir.

Aşırı doldurma uygulanmış deney motoru ile doğal emiş durumundaki motorun ekserji analiz verileri kıyas edildiğinde; motora aşırı doldurma uygulanması durumunda doğal emiş durumuna kıyasla B0 yakıtının B20 yakıtına göre daha verimli olduğu enerji analizi sonuçlarına paralel olarak tespit edilmiştir. Aşırı doldurma durumunda; B0 yakıtı kullanılması durumunda B20 yakıtına kıyasla giren yakıt ekserjisi değerinde %1,6 artış gözlemlenirken, net ekserjetik güç değerinde %2,05 artış tespit edilmiştir. Ekserjetik verim değerlerinde %0,32 artış tespit edilirken, birim ekserji maliyeti değerlerinde %0,6 azalma gözlemlenmiştir.



BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada tek silindirli, Süper Star marka, direkt enjeksiyonlu bir dizel motor için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Deneylerde dizel yakıtta farklı oranlarda pamuk yağı metil esteri biyodizeli karıştırılması ile elde edilen 3 farklı yakıt ile bu yakıtlara referans olabilmesi için dizel (STD) yakıtı kullanılmıştır. Deney motoru, 1200 d/d ile 2200 d/d arasında 200 d/d aralıklarla 6 farklı devir sayısında çalıştırılmıştır. Devir sayısı ve yakıt türünün enerji ve ekserji analizi üzerine etkileri incelenmiştir. Deneylerin bir sonraki basamağında, doğal emiş durumundaki motora aşırı doldurma uygulanmış ve deneyler B0 ve B20 yakıtları için tekrar edilerek enerji ve ekserji analizleri yapılmış, elde edilen değerler doğal emiş durumundaki değerler ile kıyas edilmiştir. Aşağıda bu çalışmada elde edilen sonuçlar sıralanmıştır:

1. Doğal emiş durumunda; devir sayısı açısından irdelendiğinde B0, B10, B20, B50 yakıtları için yakıt enerji değerinin, motor devri arttıkça artış gösterdiği görülmüştür.
2. Doğal emiş durumunda; tüm devirler için en yüksek efektif güç değeri, B20 yakıtı için elde edilmiştir.
3. Doğal emiş durumunda; B0 yakıtı için maksimum momentin elde edildiği devir sayısı 1400 d/d, diğer yakıtlar için 1600 d/d olarak tespit edilmiştir.
4. Doğal emiş durumunda; tüm yakıtlar için maksimum gücün elde edildiği devir sayısı 2200 d/d'dır.
5. Doğal emiş durumunda; tüm devir sayıları için minimum egzoz enerji değeri B10 yakıtı için elde edilmiştir.
6. Doğal emiş durumunda; diğer kayıplar enerjisinin bazı motor devirlerinde düzensiz dağılım gösterdiği görülmüş, bu durum ekserji analizinde irdelenmiştir.

7. Doğal emiş durumunda; efektif verimin tüm yakıtlar için en yüksek değerini 1200 d/d'da aldığı görülmüştür.
8. Doğal emiş durumunda; tüm devir sayılarında en düşük özgül yakıt tüketimi B20 yakıtı için elde edilirken, bunu sırasıyla B10, B0, B50 yakıtları takip etmiştir.
9. Doğal emiş durumunda; özgül yakıt tüketimi bütün yakıt çeşitlerinde minimum değerini 1200 d/d'da almıştır.
10. Maksimum yakıt enerji değeri; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
11. En yüksek efektif güç değeri; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
12. Doğal emiş ve aşırı doldurma durumları için B0 ve B20 yakıtlarının her ikisinde de maksimum efektif gücün elde edildiği devir sayısı 2200 d/d'dır.
13. Minimum egzoz enerji değeri; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
14. En yüksek efektif verim; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
15. En düşük özgül yakıt tüketimi; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumu için B0 yakıtı için elde edilmiştir.
16. Doğal emiş durumunda; devir sayısı açısından irdelendiğinde tüm yakıtlar için yakıt ekserji değerinin, motor devri arttıkça arttığı görülmüştür.
17. Doğal emiş durumunda; tüm devirler için en yüksek net ekserjetik güç değeri efektif güç değerinde olduğu gibi, B20 yakıtı için elde edilmiştir.
18. Doğal emiş durumunda; tüm yakıtlar için maksimum net ekserjetik gücün elde edildiği devir sayısı 2200 d/d'dır.
19. Doğal emiş durumunda; tüm devir sayıları için minimum egzoz ekserjisi değeri enerji değerlerinde olduğu gibi B10 yakıtı için elde edilmiştir.
20. Doğal emiş durumunda; yok olan ekserji maksimum değerini 2200 d/d'da almıştır.
21. Doğal emiş durumunda; en düşük yok olan ekserji değeri B20 yakıtı için elde edilmiştir.

22. Doğal emiş durumunda; ekserjetik verimin tüm yakıtlar için en yüksek değerini efektif verimde olduğu gibi 1200 d/d'da aldığı görülmüştür.
23. Doğal emiş durumunda; tüm devir sayılarında en düşük birim ekserji maliyeti B20 yakıtı için elde edilmiştir.
24. Doğal emiş durumunda; birim ekserji maliyeti bütün yakıt çeşitlerinde minimum değerini 1200 d/d'da almıştır.
25. Maksimum yakıt ekserjisi değeri; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
26. En yüksek net ekserjetik güç değeri; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
27. Doğal emiş ve aşırı doldurma durumları için B0 ve B20 yakıtlarının her ikisinde de maksimum net ekserjetik gücün elde edildiği devir sayısı 2200 d/d'dır.
28. Minimum egzoz ekserjisi değeri; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
29. En düşük yok olan ekserji değeri; doğal emiş ve aşırı doldurma durumlarında B20 yakıtı için elde edilmiştir.
30. Bütün durumlarda yok olan ekserji değerinin motor devri arttıkça arttığı görülmüştür.
31. Çalışma sonucunda ekserji kayıpları içerisinde en fazla büyüklüğe sahip parametrenin yok olan ekserji değeri olduğu görülmüştür.
32. Diğer önemli parametreler egzoz ekserjisi değeri, soğutma suyu ekserjisi ve diğer kayıplar ekserjisi olarak ifade ettiğimiz değerlerdir.
33. En yüksek ekserjetik verim; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
34. Bütün durumlarda ekserjetik verim değerlerinin yaklaşık olarak maksimum torkun elde edildiği devir sayısına kadar arttığı, sonrasında azaldığı görülmüştür.
35. En düşük birim ekserji maliyeti; doğal emiş durumunda B20 yakıtı için elde edilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtı için elde edilmiştir.
36. Birim ekserji maliyeti, doğal emiş durumunda da aşırı doldurma durumunda da devir sayısı arttıkça artış göstermiştir.

37. Özgül yakıt tüketimi değeri, aşırı doldurmalı motorda doğal emiş durumundaki motora kıyasla daha düşük değerlere sahiptir.
38. Aşırı doldurmalı motorda, doğal emiş durumundaki motora göre düşük egzoz gaz emisyon değerleri elde edilmiştir. Bu durum egzoz ile atılan enerji ve ekserji değerlerini doğal emiş durumundaki motora kıyasla düşürmüştür.
39. Çalışmada kullanılan yakıtların pekçok özelliğinin birbirine yakın olmasından dolayı, özellikle B20 yakıtının doğal emiş durumunda bütün özelliklerinin B10 ve B50 yakıtlarından üstün olması nedeniyle, B20 yakıtı doğal emiş durumunda B0 yakıtına alternatif olarak kullanılabilirdiği söylenebilirken, aşırı doldurma durumunda B0 yakıtının pekçok özelliği bakımından B20 yakıtına kıyasla avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.
40. Yapılan bu çalışmada, enerji ve ekserji analizinin birlikte uygulanması daha gerçekçi ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2019a). Erişim: 22 Mart 2019, <https://www.endustri40.com/turk-otomotiv-sektoru/>
- Anonim, (2019b). Erişim: 19 Nisan 2019, <https://trstatic.eodev.com/files/d21/a5b2228114c5f1880c5d2e1023efc700.doc>
- Anonim, (2019c). Erişim: 20 Nisan 2019, <http://www.eie.gov.tr/biyodizel/>
- Anonim, (2019d). Erişim: 18 Mart 2019, <https://www.tech-worm.com/biyodizel-nedir-faydalari-nelerdir/>
- Anonim, (2019e). Erişim: 05 Nisan 2019, http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/66164_2047113654.pdf
- Abedin, M. J., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Sanjid, A., Ashrafur Rahman, S. M. ve Masum, B. M. (2013). Energy balance of internal combustion engines using alternative fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26: 20–33.
- Adaçay, F. R. (2014). Türkiye için enerji ve kalkınmada perspektifler, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (2): 87-103.
- Ahem. W. (1980). *Het Financieringstekort in de jaren tachtig*, Openbare Uitgaven, 12 (4).
- Akan, A. E. (2012). *İplik kurutma prosesinin enerji ve ekserji analizi* (Yüksek lisans tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Akınerdem, F. (2014). Enerji Tarımı; Enerji Bitkileri Potansiyelimiz. *Enerji Güvenliği, Enerji Tarımı, Küresel Isınma Açısından Biyoyakıtlar Uluslararası Sempozyumu*, Samsun, 1-5.
- Aktaş, A. ve Sekmen, Y. (2008). Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(1): 199-206.
- Alptekin, E. ve Çanakcı M. (2006). Biyodizel ve Türkiye’deki durumu, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 47 (561): 57 - 64.

- Altınsoy, A. S. (2007). *Biyodizel üretimi motorlarda kullanımı ve türkiye'deki kaynakların incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Apaydın, Ş., Köse, R. ve Aydın, Ö. (2017). Dizel lokomotif motorunda ara soğutucu modernizasyonu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (1): 43-50.
- Arslan, M. ve Alibaş, K. (2015). Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve bu tesiste çeşitli bitkisel yağ kaynaklarından biyodizel üretimi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29 (1): 107-113.
- Ayhan, V. (2006). *Metanol-benzin karışımlarının mgo-zro₂ termal bariyer çemberli bir motorda performans ve emisyonlara etkisi* (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ayhan, V. (2009). *Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun no_x ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması* (Doktora tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ayhan, V. (2016). Direkt enjeksiyonlu bir dizel motoruna buhar ve farklı yöntemlerle su gönderiminin performans ve nox emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20 (3): 463-471.
- Ayhan, V. (2019). Ayçiçek yağı metil ester karışımlarının dı bir dizel motorunun performans ve emisyonlarına etkisi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7 (1), 67-73.
- Batmaz, İ. ve Murcak, A. (2004). Dizel motorlarında hidrojenin ek yakıt olarak kullanımının motor performansına etkisinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 7 (2): 119-128.
- Bayındırlı, C. (2008). *Pamuk yağı metil esteri karışımlarının motor emisyonlarına etkisinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bejan, A. (1996). *Entropy Generation Minimization: The Method of Thermodynamic Optimization of Finite-Size Systems and Finite-Time Processes*. CRC Press, Boca Raton.
- BP Statistical Review (2011). Erişim: 16 Mart 2019, https://www.bp.com/content/dam/bpcountry/de_de/PDFs/brochures/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf

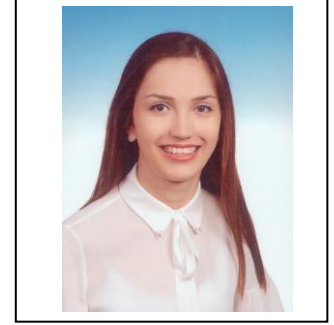
- Budhale, K. C. ve Desai, S. R. (2015). Experimental Evaluation of Friction Power in a Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, 2 (6): 424-429.
- Bulut, R. (2018). Dünyada enerji kaynakları ve enerjide söz sahibi ülkeler, *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 6 (67): 69-74.
- Çakmak, A. ve Bilgin, A. (2017). Bir dizel motorda mısır yağı biyodizeli kullanımının termodinamik analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2): 87-97.
- Çalışkan, Ş. (2009). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 25: 297-310.
- Çelik, M. (2015). *Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi* (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2006). *Thermodynamics: An Engineering Approach*, Fifth Edition, McGraw-Hill, New York.
- Demir, B. (2009). *Küçük ölçekli bir biyodizel sisteminin oluşturulması, elde edilen pamuk yağı metil esterinin motor performans testleri, enerjetik ve ekserjetik değerlendirilmesi* (Doktora tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Doğan, H. ve Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (1): 375-383.
- Durmuş, T. (2006). *Salavatlı jeotermal santralinin ekserji analizi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Emekli, M. ve Özgül, E. (2014). Motor kontrolü uygulamaları için çift kademeli aşırı doldurma sistemine sahip bir dizel motorun modellenmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 55 (659): 50-64.
- EPPAM, (2009). İstanbul Aydın Üniversitesi Enerji Politikaları ve Piyasaları Uygulama ve Araştırma Merkezi Notları, Erişim: 22 Mart 2019, <https://eppamtr.weebly.com/enerj304-guumlndem304.html>
- Er, H. (2009). *Pamuk yağı metil esterinin yakıt olarak bir dizel taşıtında kullanımı ve taşıt performansına etkisinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Erbaş, Y. (2006). *Su soğutmalı bir benzin motorunda sıkıştırma oranı değişiminin birinci ve ikinci kanuna göre analizi* (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Güven, Ö. (2010). *Türkiye koşullarında üretilen biyodizelin bazı özelliklerinin standartlara uygunluğunun ve yakıt püskürtme miktarı üzerine etkilerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Tekirdağ.
- Hazar, H. ve Öztürk, U. (2016). The use of peanut oil methyl ester in diesel engine and comparison of emission values with d-2 fuel. *Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı Kapadokya (IMSTEC'16)*, Nevşehir.
- Hepbaşlı, A. (2008). A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (3): 593-661.
- Heywood, J. G. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, New York.
- Hiereth, H. ve Prenninger, P. (2007). *Charging the Internal Combustion Engine*, Springer Verlag, Wien-New York.
- İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R. ve Aydın, H. (2011). Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 92 (3): 356-362.
- İçingür, Y. ve Eray, M. E. (2003). Değişik yakıt harmanlarının yakıt dizel motorlarında kullanılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (3): 589-599.
- İlker, Y., İlbaş, M. ve Su, Ş. (2003). Türkiye rüzgar enerji potansiyelinin değerlendirilmesi. *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu TMMOB*, Kayseri: 339-401.
- İşler, A. (2011). *Aspir yağı etil esteri ve yaşam döngüsünde değerlendirilmesi*. (Yayınlanmamış doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, A. (2007). *Kızartma atığı yağlarından süperkritik alkol transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel elde edilmesi* (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Keskin, A. (2018). Pamuk yağı metil esteri-eurodizel yakıt karışımlarının direkt püskürtmeli bir dizel motorunun yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (2): 1-19.
- Kılıçkan, A., Eliçin, A. K. ve Erdoğan, D. (2008). Pamuk yağı motorin karışımlarının ve pamuk yağı esterlerinin küçük güçlü bir dizel motorda yakıt olarak kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 14 (3): 237-245.

- Kuleyin, B. ve Cerit, A.G. (2011). Ham petrolün dünya pazarlarına ulaştırılmasında Ceyhan Terminali'nin rolü. Dokuz Eylül Üniversitesi, *Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 3 (2): 15-35.
- López, I., Quintana, C. E., Ruiz, J.J., Cruz-Peragón, F. ve Dorado, M.P. (2014). Effect of the Use of Olive-Pomace Oil Biodiesel/Diesel Fuel Blends in a Compression Ignition Engine: Preliminary Exergy Analysis, *Energy and Conversion Management*, 85: 227-233.
- MEGEP, (2006). Motorlu Araçlar Teknolojisi, Dizel Motorları Yakıt Sistemleri-Notları - 1.
- Moran, M. J. ve Shapiro, H. N. (2000). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Third Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Öğüt, H., Oğuz, H., Bacak, S., Aydın, F., Uygun, S., Arslan, Y. ve Subaşı, İ. (2014). Peleminer biyodizelinin teknik özelliklerinin incelenmesi. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, 28-29 Mayıs 2014, Samsun: 45-49.
- Örnek, S. S. (2007). *Dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Özek, E. (2013). *Tekrar dolaşımli iklimlendirme sistemlerinin enerji ve ekserji analizi* (Yüksek lisans tezi). Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Özülkü, M. (2002). *Aşırı doldurmalı dizel bir motorda ara soğutmanın (aftercooling) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pilusa, T. J., Mollagee, M. M. ve Muzenda, E. (2012). Reduction of vehicle exhaust emissions from diesel engines using the whale concept filter, *Aerosol and Air Quality Research*, 12: 994–1006.
- Polat, S. (2011). Hitit Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Ders Notları.
- Reşitoğlu, İ. A. (2010). *Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Sadıkho, E., Kangı, R. ve Uğur, S. (1995). Ölçüm Belirsizliği, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)-95-014.
- Salman, S., Çınar, C., Topgül, T. ve Haşimoğlu, C. (2002). Bir dizel motorunda egzoz gazları, soğutma suyu ve sürtünmeler yoluyla kaybedilen ısı enerjisinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 5 (3): 233-236.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Tansunur KAYDIRAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1994 - Sakarya
E-posta : tansunur.kaydirak@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2012, Figen Sakallıoğlu Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri
- **Lisans** : 2016, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Otomotiv Mühendisliği Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİMLER:

- 2016-2018 yılları arasında Federaş Elektrik A.Ş.'de Mekanik AR-GE Mühendisi olarak çalıştı.
- 2018 yılında DAIKIN Isıtma ve Soğutma Sistemleri San. Tic. A.Ş.'de Isıtma AR-GE mühendisi olarak göreve başladı ve halen devam etmektedir.
- 2019 yılında Sakarya Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimini tamamladı.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR

- Kaydirak, T., Özsert, İ., Ayhan, V. 2019. Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Farklı Oranlarda Dizel - Biyodizel Yakıt Kullanımının Motor Enerji Dağılımı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *Mühendislikte Yeni Yaklaşımlar*, 203-216.
- Kaydirak, T., Özsert, İ., Ayhan, V. 2019. Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Farklı Oranlarda Dizel - Biyodizel Yakıt Kullanımının Motor Enerji Dağılımı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi (UBAK)*, 14-17 Şubat 2019 Yalova, Türkiye.

- Kaydırak, T., Özsert, İ., Ayhan, V. 2019. Aşırı Doldurmalı Bir Dizel Motorunda B20-Pamuk Yağı Metil Ester Kullanımının Motor Enerji Dağılımına Etkilerinin İncelenmesi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar) 2019 Bildiriler Kitabı (Fen Bilimleri)*, 2, 1347-1355.
- Kaydırak, T., Özsert, İ., Ayhan, V. 2019. Aşırı Doldurmalı Bir Dizel Motorunda B20-Pamuk Yağı Metil Ester Kullanımının Motor Enerji Dağılımına Etkilerinin İncelenmesi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar)*, 26-28 Nisan 2019 Kocaeli, Türkiye.
- Kaydırak, T., Özsert, İ., Ayhan, V. 2019. Farklı Yük Şartlarında Çalışan Bir Dizel Motorunda Biyodizel-Dizel Karışımı Kullanımının Enerji Analizi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar) 2019 Bildiriler Kitabı (Fen Bilimleri)*, 2, 1356-1363.
- Kaydırak, T., Özsert, İ., Ayhan, V. 2019. Farklı Yük Şartlarında Çalışan Bir Dizel Motorunda Biyodizel-Dizel Karışımı Kullanımının Enerji Analizi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar)*, 26-28 Nisan 2019 Kocaeli, Türkiye.