

153621

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYODİZEL YAKITI KULLANAN BİR DİZEL
MOTORUNDA EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Otomotiv Öğret. Eyüp UÇKUN

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

DANIŞMAN: Yrd. Dç. Dr. Murat HOŞÖZ

TEMMUZ 2004

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYODİZEL YAKITI KULLANAN BİR DİZEL
MOTORUNDA EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Otomotiv Öğret. Eyüp UÇKUN

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:28 Mayıs 2004
Tezin Savunulduğu Tarih :2 Temmuz 2004**

Tez danışmanı

Yrd. Doç. Dr.

Murat HOŞÖZ

(.....)



Üye

Doç. Dr.

İbrahim KILIÇASLAN

(.....)



Üye

Yrd. Doç. Dr.

Murat KARABEKTAŞ

(.....)



TEMMUZ 2004

BİYODİZEL YAKITI KULLANAN BİR DİZEL MOTORUNDA EKSERJİ ANALİZİ

Eyüp UÇKUN

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Ekserji, Ekserji Analizi

Özet: İçten yanmalı motorların daha verimli ve etkin kullanımı için, enerji analizinin yanında ekserji analizinin de uygulanması gereklidir. Bu çalışmada, çeşitli biyodizel yakıtların bir dizel motorunda kullanılabilirliği incelenmiş ve bu yakıtlar ile çalıştırılan deney motorunun ekserji açısından performansı belirlenmiştir. Ekserji analizinde, daha önce yapılmış deneysel bir araştırmada kullanılan iki nolu dizel yakıtı ve dört çeşit biyodizel yakıtı için elde edilen sonuçlar referans alınmıştır. Sonuç olarak, farklı yakıtlar ile çalışan dizel motorunun ısı verimi, ısı kayıpları, yakıt ekserjisi, ekserji kayıpları, ekserji verimi v.b. gibi performans parametreleri belirlenmiştir. Bu yakıtların deneysel performansları, grafikler halinde sunulmuştur.

EXERGY ANALYSIS OF A DIESEL ENGINE USING BIODIESEL FUEL

Eyüp UÇKUN

Key Words: Biodiesel, exergy, exergy analysis

Abstract: In order to utilize internal combustion engines more efficiently, we must apply not only energy but also exergy analysis on them. This study examines usability of various biodiesel fuels in a diesel engine and exergetic evaluation of these fuels used in the test engine. As referring to the findings obtained in a previous study, which was conducted by using number 2 diesel fuel and four other biodiesel fuels, exergy analysis of the reported experimental system has been carried out. Performance parameters such as thermal efficiency, heat losses, fuel exergy, exergy losses, etc. of the diesel engine working with various fuels have been determined. Furthermore, the experimental performances of these fuels have been given in graphes.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Biyodizel yakıtı, hem dışa bağımlılığı azaltması hem de yenilenebilir bir yakıt olmasından dolayı günümüzde birçok ülkede kullanılmaktadır. Biyodizel, motor ve yakıt sisteminde önemli tadilat veya ilave gerektirmeyişi, araca zararlı etkisi olmayışı, sağladığı yakıt ekonomisi ve çevreci özellikleri nedeniyle kullanıcılara kendini kolayca kabul ettiren bir yakıt olmuştur. Bir tarım ülkesi olan ülkemizde de biyodizel kullanımı son zamanlarda sık olarak gündeme gelmektedir. Bu çalışmada, çeşitli biyodizel yakıtlar ile çalıştırılan bir dizel motoruna ekserji analizi uygulanarak, bu yakıtların ekserjik açıdan değerlendirmesi ve karşılaştırması yapılmıştır.

Yüksek lisans çalışmalarımda büyük desteğini gördüğüm Sayın Yrd. Dç. Dr. Murat HOŞÖZ' e ve deneysel çalışmalarında elde ettiği verilerini kullanma imkânı veren Sayın Yrd. Dç. Dr. Mustafa ÇANAKÇI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimimin başlangıcından, tez çalışmalarımın sonuna kadar sürekli destek ve fedakârlarını esirgemeyen değerli annem Düriye UÇKUN ve babam İsmet UÇKUN' a sonsuz teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v, vi
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	vii, viii, ix, x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi, xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 BİYODİZELİN GENEL TANITIMI.....	4
2.1 Biyodizel Yakıtının Özellikleri.....	6
2.2.Biyodizelin İmalatı.....	8
2.2.1 Seyreltme (İnceltme) yöntemi.....	9
2.2.2 Transesterifikasyon yöntemi.....	9
2.3 Biyodizel Uygulamaları.....	12
BÖLÜM 3 ENERJİ VE ENERJİNİN KORUNUMU.....	14
3.1.GİRİŞ.....	14
3.2. Termodinamiğin Birinci Yasası ve Enerji Analizi.....	15
BÖLÜM 4 TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU VE EKSERJİ ANALİZİ.....	18
4.1.Termodinamiğin İkinci Kanunu.....	18
4.2. Ekserji ile İlgili Temel Kavramlar.....	21
4.2.1 Ekserjinin tanımı.....	21
4.2.2. Ölü hal ve sınırlı ölü hal.....	23

4.2.3.Ekserjinin bileşenleri.....	23
4.2.4. Fiziksel ekserji.....	25
4.2.5. Ekserji dengesi.....	28
4.2.6.Kontrol hacimleri için ekserji dengesi ifadesi.....	29
4.2.7. Kimyasal Ekserji.	30
4.2.8. Standart kimyasal ekserji.....	33
4.2.9. Ekserjik verim (rasyonel verim)	35
BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	37
BÖLÜM 6 MOTORDA ÇEŞİTLİ YAKITLARA ENERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI.....	42
6.1.Enerji Hesapları.....	42
6.1.1 Krank mili gücü (efektif güç).....	42
6.1.2. İki nolu dizel yakıtının yakıt enerjisi.....	43
6.1.3.İki nolu dizel yakıtının ısı veriminin bulunması.....	43
6.1.4. İki nolu dizel yakıtının yanması ile oluşan toplam ısı kaybının bulunması.....	44
BÖLÜM 7 MOTORA EKSERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI.....	47
7.1 Ekserji Hesapları.....	47
7.1.1Yakıt ekserjisi (kimyasal ekserjisi).....	47
7.1.2 .Efektif güç ekserjisi (krank mili gücü) ekserjisi.....	48
7.1.3. Eksozt ekserjisi.....	49
7.1.3.1. Yanma denkleminin elde edilmesi.....	49
7.1.3.2 Yanma ürünlerinin gerçek kütlelerinin bulunması....	51
7.1.3.3 Yanma ürünlerinin toplam ekserjileri.....	52
7.1.4. Isı transferine eşlik eden ekserji transferi	56
7.1.5 Motorda üretilen toplam entropi.....	58
7.1.6 Motordaki ekserjik verim.....	58
BÖLÜM 8 SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	69

KAYNAKLAR.....71

ÖZGEÇMİŞ.....75



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

a	: C_aH_b Hidrokarbonunda kapalı formülündeki karbonun atom sayısı
b	: C_aH_b Hidrokarbonunda kapalı formülündeki hidrojenin atom sayısı
c	: Karbonun atomik yüzdesi
E	: Sistemin toplam ekserjisi
e	: Sistemin özgül toplam ekserjisi
$E_{\text{Ç}}$: Sisteme çıkan ekserji
E_D	: Yanma sonucu yıkılan ekserji
E_{ek}	: Eksozt Ekserjisi
$E_{\text{FİZ}}$: Sistemin fiziksel ekserjisi
e_{fiz}	: Sistemin özgül fiziksel ekserjisi
E_G	: Sisteme giren ekserji
$E_{\text{KİM}}$: Sistemin kimyasal ekserjisi
E_{KN}	: Sistemin kinetik ekserjisi
e_{kim}	: Sistemin özgül kimyasal ekserjisi
e_{kn}	: Sistemin özgül kinetik ekserjisi
$E_{q,J}$: Isı transferine eşlik eden ekserji transferi
E_{POT}	: Sistemin potansiyel ekserjisi
e_{pot}	: Sistemin özgül potansiyel ekserjisi
E_T	: Sistemin toplam enerjisi
e_t	: Özgül toplam enerji
e_{tmi}	: i gazının termomekanik ekserjisi
e_{topi}	: i gazının toplam ekserjisi
E_w	: Efektif güç ekserjisi ekserjisi
e_K^{kii}	: K gazının kimyasal ekserjisi
g	: Yerçekimi ivmesi

\overline{g}_f^0	: Gibbs formasyon fonksiyonu
g_i	: i gazının gibbs formasyon fonksiyonu
h	: Hidrojenin atomik yüzdesi
\overline{h}_0	: Birim mol başına entalpi
\overline{h}_i	: i gazının mol başına entalpisi
h_o	: Ölü haldeki entalpi
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri
Δh	: Entalpi değişimi
Δh_{EH}	: Eksozt gazlarının entalpi değişim farkları
m	: Sistemin birim kütlesi
m_i	: i maddesinin mol kütlesi
M_i	: i maddesinin kısmi kütlesi
M_{TOP}	: Yanma ürünlerinin toplam kütlesi
M_{EK}	: Yanma ürünlerinin toplam kütlesi
M_y	: 1400 d/dk' ya karşılık gelen yakıtların debisi
M_h	: Kütleli hava debisi
n	: Azotun atomik yüzdesi
ne	: Devir sayısı
n_i	: i maddesinin mol miktarı
N_e	: Krank mili gücü (efektif güç)
o	: Oksijenin atomik yüzdesi
p_o	: Ölü haldeki veya atmosfer basıncı
p_{ref}	: Referans haldeki basınç
\overline{R}	: Üniversal gaz sabiti
s	: Sülfürün atomik yüzdesi
s	: Özgül entropi
S	: Belirli haldeki sistemin entropisi
S_0	: Ölü haldeki sistemin entropisi
\overline{s}^0	: Birim mol başına entropi
\overline{s}^0_0	: Ölü durumdaki birim mol başına entropi
\overline{s}^0_i	: i maddesinin birim mol başına entropisi
S^c	: Çevrenin entropisi

ΔS	: Entropi değişimi
ΔS_c	: Bileşik sistem için entropi değişimi
ΔS°	: evre için entropi değişimlerinin toplamı
Q	: Isı transferi ile çıkan ısı
Q_j	: Ekserjiye eşlik eden ısı transferi
Q_c	: Sistem adyabatik olduğunda oluşan ısı alışverişi
Q_{kay}	: Oluşan toplam ısı kaybı
Q_{ter}	: Tersinir olarak yapılan ısı alışverişi,
Q_Y	: Yakıt enerjisi
T	: Mutlak sıcaklık
T_o	: Ölü haldeki veya evre sıcaklığı
T_c	: Soğutma suyu sıcaklığı
T_{ek}	: Eksozt manifold sıcaklığı
t_{ilk}	: İlk durumdaki sıcaklığı
t_{son}	: Son durumdaki sıcaklığı
T_J	: Sınır sıcaklığı
T_r	: Tork
T_m	: Eksozt manifold sıcaklığı
T_{ref}	: Referans haldeki sıcaklık
U	: Belirli haldeki sistemin iç enerji
U_o	: Ölü haldeki sistemin iç enerjisi
ΔU_c	: Bileşik sistemin iç enerji değişimi
ΔU°	: Çevrenin iç enerji değişimini
u	: Özgöl iç enerji
V°	: Çevrenin hacmi
W_{cv}	: Sistem tarafından yapılan iş
V	: Belirli haldeki sistemin hacmi
V_o	: Ölü haldeki sistemin hacmi
V	: Çevredeki koşullarla ilişkili hız
ΔV°	: Bileşik sistemin hacim değişimi
y_k°	: k gazının mol kesiri
y_i	: i maddesinin mol kesirleri
z	: Çevredeki koşullarla ilişkili yükseklik

ε	: Ekserjik verim
w	: Açısal hız
σ_{cv}	: Toplam entropi üretimi
ϕ	: Yakıtın kimyasal ekserjisinin alt ısı değere oranı
η_y	: Isıl verim
G.A.P.	: Güney Doğu Anadolu projesi
C.N.G.	: Sıkıştırılmış doğal gaz
L.N.G.	: Sıvılaştırılmış doğal gaz
L.P.G..	: Sıvı petrol gazı
DİZEL	: İki nolu dizel yakıtı
SYME	: Soya yağı bazlı metil ester biyodizel
S.V.G..S.	: Almanya devlet denetleme kuruluşu
YGME	: Atık yağ bazlı metil ester biyodizel
%20SYME yakıtı karışımı	: %20 Soya yağı bazlı metil ester biyodizel ve %80 İki nolu dizel
%20YGME yakıtı karışımı	: %20 Atık yağ bazlı metil ester biyodizel ve %80 İki nolu dizel

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi.....	11
Şekil 2.2: Biyodizel üretimi.....	14
Şekil 2.3: Biyodizel dünya üretimi.....	15
Şekil 3.1: Kapalı ve açık sistemler.....	20
Şekil 4.1: Termodinamiğin ikinci kanununun açıklanması.....	22
Şekil 4.2: Ekserji kavramının şekille ifadesi.....	26
Şekil 4.3.: Sistem sınırlarından girip çıkan madde akışının ekserji bileşenleri.....	29
Şekil 4.4: Kapalı sistem ve çevreden oluşan bileşik sistem.....	31
Şekil 4.5: C_aH_b yakıtı için kimyasal ekserji kavramının tanımı.....	36
Şekil 4.6: Bir gazın kimyasal ekserjisinin hesaplanması için gerekli düzenek.....	41
Şekil 5.1: Motor test ünitesinin şematik görünümü.	45
Şekil 6.1: Toplam ısı kaybı.....	52
Şekil 6.2: Yakıtların ısı verimi.....	54
Şekil 7.1: Eksoz ekserjisi.....	71

Şekil 7.2: Toplam üretilen entropi.....	72
Şekil 7.3: Toplam ekserji yıkımı.....	73
Şekil 7.4: Yakıt özgül kimyasal ekserjisi.....	74
Şekil 7.5: Yakıt ekserjisi.....	75
Şekil 7.6: Isı transferine eşlik eden ekserji transferi.....	76
Şekil 7.7: Ekserjik verim.....	77
Şekil 7.8: Ekserji kayıplarını karşılaştırılması.....	78
Şekil 7.9: Isıl ve ekserjik verimlerin karşılaştırılması.....	78

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1: John Deree 4276T dizel motorunun bazı özellikleri.....	44
Tablo 5.2: Deney sonucu elde edilen bulgular.....	46
Tablo 5.3: Emisyon ölçümü sonuçları.....	47
Tablo 5.4: Yakıtların içerisindeki moleküllerin kütleli olarak yüzde oranları.....	48
Tablo 6.1: Enerji analizi sonuçları.....	53
Tablo 7.1: Yakıtların h/c, o/c, s/c oranları.....	56
Tablo 7.2: Farklı yakıtların ekserji analizi karşılaştırılması.....	70

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden türetilen yakıtlar, biyodizel olarak adlandırılır. Hayvansal yağlar ile soya fasulyesi, mısır ve ayçiçeği gibi bitkisel ürünlerin yağlarından, biyodizel yakıt üretiminde faydalanılır. Biyodizel saf olarak kullanılabilmesi gibi, petrolden elde edilen dizel yakıtla karıştırılarak da kullanılabilir. Bitkisel yağlarının yakıt olarak kullanılabilmesini, ilk olarak 1900'lü yılların başında Rudolph DIESEL yer fıstığı yağıyla dizel motoru çalıştırarak göstermiştir (Nitske ve Wilson, 1965). Fakat petrol hazır bir sektör olduğu için, yaygınlaşması ancak bazı özel olaylar sonucu ve kısıtlı olmuştur. İkinci dünya savaşı, 1970'lerdeki petrol darboğazı ve yeni dönemde çevre bilincinin artması yeni enerji kaynaklarına ilgiyi artırmıştır. Bu yıllarda alternatif yakıtlar üzerine çok araştırma yapılmıştır. Bu yakıtların elde edilme metotları, doğadaki potansiyelleri, ekonomik olarak kullanılabilirliğini etkilemektedir. Bu yakıtlardan bazıları olarak metanol, etanol, sıkıştırılmış doğal gaz (C.N.G.), sıvı petrol gazı (L.P.G.), sıvılaştırılmış doğal gaz (L.N.G.), bitkisel yağlar ve diğer alternatif yakıtlar sayılabilir (Georges, 2000).

İçten yanmalı motorların daha verimli ve etkin olarak kullanılması için enerji analizinin yanında ekserji analizi de gereklidir. Çünkü ekserji analizi; yer, durum ve belirtilen enerji kayıp ve atığının gerçek miktarını daha iyi belirlediğinden, enerji analizine göre daha avantajlıdır. Bu analiz, enerjinin doğrudan etkili olduğu sistemlerin tasarımında ve mevcut sistemin verimini artırmada kullanılabilir. Ekserji analizi birinci kanunun daha iyi anlaşılmasını sağlar.

Literatürde bu iki konunun kombinasyonu olarak bir çalışma mevcut değildir. Biyodizelle ilgili olarak genel olarak aşağıdaki çalışmalardan bahsedilebilir.

Alibaş ve Ulusoy (1995), bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarını ve yöntemlerini araştırmışlar. Knothe ve diğerleri (1998), biyodizel ve türevleri üzerine çalışma yapmışlardır. Çanakçı (2001), biyodizelin üretimi, depolanması ve soya bazlı ve hayvansal yağ bazlı biyodizelin, değişik oranlarda dizel ve biyodizel karışımlarının emisyon ve performans karşılaştırmasının üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Mittelbach ve Pokits (1993) kızarmış yağlardan metil ester asitlerinin üretimi ve yakıt özellikleri ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Scholl ve Sorenson (1993) ise, direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda metilin yanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Krahl ve diğerleri (1996), biyodizelin egzoz emisyonu ve çevreye etkisi ile ilgili bir çalışma il ilgilenmişlerdir. Tat ve Gerpen (1996) ise, hayvansal ve bitkisel kaynaklı biyodizel yakıtlarının dizel yakıtı ile olan karışımlarının kinematik viskoziteleri üzerinde çalışmışlardır. Kaufman ve Ziejewski (1984) ise, ayçiçek metil esterinin dizel motorunda kullanımında kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Nye ve Southwell (1983)'de kızartma yağlarından metil ester üreterek performans çalışması yapmışlardır.

İçten yanmalı motorlar üzerine ekserji analizi uygulama çalışmalarına ait makale ve yayınlarına literatürde nadiren rastlanmaktadır. Bu tür çalışmalarda genelde termodinamiğin birinci kanunu dikkate alınmıştır. Bu çalışmalardan bazıları ise şunlardır.

Şahin (1997), bir benzinli motorda sübap sisteminde yapılan değişikliğin performansın üzerine (birinci kanun analizi) etkisini araştıran bir çalışma yapmıştır. Dunbar ve Lior (1992), güç çevrimleri üzerine birinci ve ikinci kanun analizini uygulamışlardır. Rakopoulos ve Antritsakis (1993), dizel motorlarda yanma tersinmezlik analizi yapmışlardır. Rakopoulos ve Giakoumis (1993), içten yanmalı motorlar üzerine ekserji analizini uygulamışlardır. Nakonieczny (2001) ise, turbo şarjlı bir dizel motorunda türbo şarj giriş ve çıkışı arasında ekserjik analizi uygulamışlardır. Rakopoulos ve Kyritsis (2001) ise metanol, metan, dodekan yakıtları arasında içten yanmalı bir motor üzerinde ikinci kanun analizini yapmışlardır. Erduranlı (1997) ve Kopaç (1998), mevcut bir enerji santralına ekserji analizinin uygulamışlardır. Caton (2000), içten yanmalı motorlarda benzinli motorda yük ve hıza bağlı ekserji analizi üzerine çalışmışlardır. Köktürk (1999) ise ekserji

analizi kullanılarak içten yanmalı bir motorun optimizasyonu ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bilgen (2000), yaptığı çalışmada ülkemizde kullanılan bazı katı ve sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara göre yakıtlar, kalite açısından birbiriyle karşılaştırılmıştır. Al-Najem ve Diab (2003) ise, dizel motoru üzerinde enerji ve ekserji analizi yapmışlardır.

Bu tez çalışmasında ise, anakı (2001) tarafından yapılan deneyde kullanılan beş farklı yakıt türü için, deney sonuçları esas alınarak deneysel sistemin ekserji analizi yapılmıştır. Yine bu çalışmada yakıtların hepsinin ayrı ayrı ısıl verimleri, ısıl kayıpların miktarları, ekserji değerleri ile ekserji kayıpları hesaplanıp karşılaştırma yapılmış ve bu yakıtlardan hangisinin dizel yakıtına yakın değerlere sahip olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yakıtlar, ticari olarak piyasada mevcut İki nolu dizel yakıtı, soya yağı bazlı metil esterden elde edilen biyodizel, atık yağ (restoranlarda kızartma yapıldıktan sonra atılan kızartma yağı) bazlı metil esterden elde edilen biyodizel, %20 soya yağı bazlı metil ester biyodizel ve %80 İki nolu dizel yakıtı karışımı, %20 atık yağ bazlı metil ester biyodizel ve %80 İki nolu dizel yakıtı karışımıdır.

BÖLÜM 2

BİYODİZELİN GENEL TANITIMI

Biyodizel kimyasal olarak yenilenebilir yağ kaynağından türetilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono alkol esterleri olarak tanımlanır. Yani biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve sıkıştırılmalı (dizel) motorlarda kullanılabilir (Connemann ve Fischer, 2000). Biyodizel, motorinle belli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Bu oran, ekonomi, gaz emisyonu, yanma özelliği gibi birçok faktöre bağlıdır ve genelde %20'lik karışım kullanılır. Bakterilerle ayrışabilen, zehirsiz, sülfürsüz ve hoş kokuludur. Bitkisel yağların metil veya etil esteridir. Bu konuda araştırma ve üretim yapan ülkelerin favori ürünü soya fasulyesidir. Elde edilen bitkisel veya biyolojik yağlar, alkolle (genelde metanol) karıştırılır ve sodyum hidroksitle tepkime hızlandırılır. Kimyasal reaksiyon sonunda bir ester ve gliserin oluşur. Ester yakıt olurken gliserindef değerli bir ürün olarak birçok sektörde kullanılır. Biyodizel her yönüyle motorine alternatif özelliklere sahiptir. Motorin kullanılan bazı motorla bazen hiçbir ayar ve değişiklik gerektirmeksizin kullanılabilir. Motorin ile kolayca karıştığı için saf veya karışım olarak kullanılmasında hiçbir mahzur yoktur. Uluslararası kodlandırmada B10 %10 oranında biyodizel katkılı motorin; B100 ise sadece biyodizel ihtiva eden dizel yakıtı temsil eder.

Biyodizel, motor ve yakıt sisteminde önemli tadilat veya ilave gerektirmediği, araca zararlı hiçbir etkisi olmaması, sağladığı yakıt ekonomisi ve çevreci özellikleri nedeniyle kullanıcılara kendini kolayca kabul ettiren bir yakıt olmuştur.

Ham petrolün çıkarılması, işlenmesi ve petrol ürünlerinin satışı için dünyanın her ülkesinde çok yüksek maliyetli geniş bir alt yapı kurulmuştur. Petrol ürünlerine bulunacak alternatiflerin öncelikle bu alt yapıya uyumlu olması; mümkünse bu alt yapıda hiçbir tadilat gerektirmeden mevcut alt yapıdan yararlanılması ve yakıtın kullanılacağı motor ve yakıt sistemlerinde büyük değişiklikler gerektirmemesi son derecede öneme haizdir. Biyodizel bu yönden de mükemmel bir alternatif

derecede öneme haizdir. Biyodizel bu yönden de mükemmel bir alternatif sunmaktadır. Motorin satılan tanklara depolanabildiği gibi yine aynı pompadan satışı yapılabilir. Motorin kullanan aracın yakıt tankına da aynı şekilde ikmal edilen biyodizel alt yapı ile mükemmel derecede uyumludur. Üst yapıyı teşkil eden motorlar ve yakıt sistemlerinde de her hangi bir tadilat ve ilave ihtiyacı olmadan biyodizel kullanımını mümkündür.

Dizel yakıtına alternatif olarak, bitkisel yağ metil esteri (biyodizel) ve özel motorlar için doğal dizel üretim yöntemlerini sunmuştur. Bu konu da birçok araştırma yapılmıştır. Schrottmaier (1993), biyodizelin Avusturya tarımında yeni bir ürün olarak ele alınması gerekliliği üzerinde durmuştur. Çalışmasında yağlı tohumların ekiminin teşvikinden dolayı, biyodizel üretimin başlatılabilmesinin öncelikle politik bir karar olduğunu belirtmiştir. Özellikle, kanoladan biyodizel üretimi ile Avrupa'da, finanse edilemeyecek derecede fazla olan tahıl üretimini azaltabileceği ve Avrupa tarımında tarlaların boş bırakılmasına karşı bir alternatif olabileceği üzerinde durmuştur. Bunun politik bir karar olarak, teknik ve işletme açısından gerekli bütün şartları da sağlayabileceğini belirtmiştir.

Höck (1994), Almanya devlet denetleme kuruluşu (SVGS) ve Bavyera Eyaletinin Gıda, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından finanse edilen çalışmada, bitkisel yağların yakıt olarak kullanım olanaklarını araştırmıştır. Araştırmasında, yakıt olarak rafine kanola yağı, kanola yağı metil esteri ve dizel yakıtı olmak üzere üç farklı yakıt kullanmıştır. Çalışmalarda SVGS' nin 55adet traktör ve iş makinesi ile 7 adet motorlu taşıt olmak üzere, bütün arazi araçları kullanılmıştır. Traktörler toplam olarak 35 000 çalışma saatine ve diğer araçlar da 500.000 km' ye ulaşmışlardır

Alibaş ve Ulusoy (1995), motorda değişiklik yapmadan %25 bitkisel yağ+%75 dizel yakıt karışımının doğrudan kullanılabilmesini ortaya koymuşlardır. Türkiye'nin petrol kaynaklarının sınırlı olması ve Güney Doğu Anadolu (GAP) projesiyle toplam 1.7 milyon hektar alanın sulu tarıma açılması durumunda, yağlı tohum üretiminde %73'lük bir artış olabileceğini belirlemişlerdir.

2.1 Biyodizel Yakıtının Özellikleri :

Biyodizel biyolojik kökenli yağlardan üretilir. Atık veya yeni bitkisel ve hayvansal yağlar aynı miktarda biyodizele dönüştürülmektedir. Biyolojik yağların bünyesinde bulunan karbon atomları, organik kökenli oldukları için yanma sonucunda ortaya çıkan karbondioksit, yeşil bitki örtüsü tarafından tekrar organik karbona dönüştürülerek "sera etkisi"ni artıracak katkıda bulunmaz. Toprağa dönen karbon atomları tekrar yağ bitkileri olarak hasat edilip yağ ve biyodizel olarak yakıtı dönüştürülerek devamlı bir döngü sağlanır. Fosil yakıtların toprağın alt tabakalarından çıkarılarak yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksitin büyük bir kısmının atmosferin üst tabakalarında birikerek sera etkisini artırıcı rol oynadığı kanıtlanmış bir bilimsel bir gerçektir. Diğer yandan biyodizelin içindeki yaklaşık %11 oranındaki oksijen oranı motorine göre büyük avantaja sebep olur (Schumacher, 1996). Biyodizelin içerdiği oksijen nedeniyle motorda hava yakıt karışımı hazırlanırken daha fazla oksijen miktarı olduğu için karışım oluşumu daha iyi olmakta, bunun sonucunda egzoz emisyonunda azalma görülmektedir. Emisyon yönünden yapılan tüm araştırmalarda biyodizel dizele göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. NO_x ve aldehit emisyonlarında artış, CO, yanmamış HC ve partikül madde, is ve CO₂ emisyonlarında azalma görülmektedir. Bitkisel yağlar kükürt içermediği için yakıtın motorda yanması sonucu SO₂ emisyonu gözlenmez. Bundan dolayı da asit yağmurlarına da neden olmaz. (Alibaş ve Ulusoy, 1995)

Biyodizel motorine oranla %10-15 arası daha az ısı değerine sahiptir. Fakat yoğunluğunda ise %5-7 oranında fazlalık görülür. Düşük ısı değerinden dolayı motor gücü ve torkunda azalma görülebilmektedir. Fakat yoğunluğun fazla olması sebebiyle bu güç kaybını kısmen de olsa azaltır.

Biyodizelin viskozitesi motorine oranla daha yüksektir (5,65 cst biyodizel, 2,80 cst motorin). Viskozitenin yüksek olması, enjektör basıncını da etkiler yakıtın püskürtülmesinde damlacık çapı daha büyük olur. Biyodizelin tutuşma kabiliyeti

daha yüksek olup bu da yüksek setan sayısından kaynaklanır (Biyodizel,54 Motorin,48). (Scharmer, 1991).

Biyodizelin kullanımı, ekonomik olması, çevre kirliliği açısından daha temiz bir yakıt olması ve dışa bağımlılık yerine öz kaynaklardan elde edilerek ülke ekonomisine çok yönlü katkıda bulunması açısından önem kazanmaktadır. Konunun; ülke tarımı, yakıt tüketimi, çevre kirliliği gibi çok yönlü değerlendirilmesi gerekmektedir (Ulusoy 2000).

Araştırmacılar biyodizel kullanımı konusunda elde ettikleri, ortak sonuçları kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Maksimum %5'lik bir verim kaybının, ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebilmektedir.
- Kanola ve kanola metil esteri kullanımı sonucu atmosferdeki CO2 oranının azaltılmasının mümkün olmaktadır.
- Biyodizel'in emisyonlarının zararsız olduğunu ve toprakta hızlı bir şekilde indirgenmediğini, ayrıca dolun sırasında depodan zehirli gaz açığa çıkmadığını ve biyodizelle dizel yakıtının karışım oranı arttıkça tabiattaki çözünürlüğü arttığı görülmüştür
- Biyodizel' in yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazların, dizel yakıtına göre; %15 daha az CO, %27 daha az HC, sadece %5 daha fazla NOx, %22 daha az parti kül, %50 daha az is ve %10 daha düşük ısı değeri, buna karşın ortalama yakıt tüketiminin yaklaşık olarak dizelden %3 fazla olduğu görülmektedir.
- Bitkisel yağların asıl avantajının, yağların biyolojik olarak çözünebilir olduğu, özellikle gemilerde, koruma altındaki su bölgelerinde, endüstri bölgelerinde veya benzer şekildeki hassas bölgelerde kullanılmasının daha da anlamlı ve kaçınılmaz olacağı sonucuna varılmıştır (Ulusoy ve Alibaş 2002).

Saf bitkisel yağların dizel motorlarında yalnız olarak kullanılması pratikte bir çok problem çıkarır. Bunun en büyük nedeni yanmanın tam olarak sağlanamamasıdır. Bu problemlerden bazıları; enjektör iğnesi tıkanması ve bozulması, aşırı motor birikintisi, yağlama yağı seyrelmesi, piston segmanı sıkışması silindir yüzeylerinde aşınma, bitkisel polimerizasyonundan dolayı motor yağlama yağının bozulmasıdır.

Ayrıca soğuk havada zor çalışma, kötü ateşleme, ateşleme yapılmaması gibi faktörler de, uzun süreli çalışmalarda ortaya çıkmaktadır. Biyodizelin soğuktan az etkilenmesini sağlamak için yağ biyodizel yakıt katkısı ya da yakıt ısıtma işlemi gerekir. Bu problemleri en aza indirmek için, bitkisel yağın kimyasal yapısı değiştirilerek dizel yakıtına yakın özelliklere sahip bir yakıt elde edilmeye çalışılır. Biyodizel yakıt olarak kullanımında genelde motor parçaları ile uyumludur ama kauçuk ve polimeri malzemelerde bazı olumsuzluklar çıkarabilmektedir. Biyodizelin çözücü özelliğinin olması yakıt hatlarındaki bu malzemelerde bozulmaya sebep olur. Biyodizelin yakıt olarak kullanımındaki diğer bir olumsuzluk ise çalışma esnasında motor yağı ile karışması sonucu motor yağlama yağının %4-5 oranında seyrelmesidir. En kötü durumda %8'e kadar seyrelme olabilmektedir. Bu motor yağının seyrelmesi ise piston silindir arasındaki aşınımın ve yağ boşluğunun artması ile daha fazla yakıt yağlama içine karışır ve motorun ömrünün azalmasına neden olur. Dizel yakıtında ise düşük kaynama noktasından dolayı dizel yakıtı motor yağına karışsa bile kısa sürede buharlaşır. Bu yöntem için bitkisel yağın kimyasal yapısı değiştirilerek dizel yakıtına yakın özelliklere sahip bir yakıt elde edilmeye çalışılır (Ulusoy ve Alibaş 2002).

2.2 Biyodizelin İmalatı :

Biyodizel yakıtında kullanılan bitki ve yan ürünler şunlardır: Buğday, palmye yaprağı, kauçuk tohumu, yulaf, pamuk, kenevir, jojoba, kahve taneleri, zeytin yağı, kenevir, soya fasulyesi, hint yağı, fındık, tung ağacı, helvacı kabağı tohumu, jatroba, susam, pirinç, macamedia, avakado, kakao, Brezilya fıncığı, yer fıncığı, euphorbia, ayçiçeğı gibi 25 civarında bitki çeşidinden oluşmaktadır. Bunların dışında ise, biyodizel üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ay çiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum veya potasyum hidroksit) tercih edilmektedir.

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunlardan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi diğeri de motor ayarlarının değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin

azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısı ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Kimyasal yöntemde kendi arasında dörde ayrılmaktadır. İyileştirme yöntemleri aşağıdaki şekilde de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi (Ulusoy ve Alibaş 2002).

Bu yöntemlerden uygulamada en çok kullanılanı, kimyasal yöntemdir. Kimyasal yöntemler içerisinde en fazla kullanılanı ise, seyreltme (inceltme) ve transesterifikasyon yöntemidir.

2.2.1 Seyreltme (İnceltme) yöntemi:

Bu yöntem, bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtına karıştırılması olarak tanımlanır. Uygulamada yaygın kullanılan B20 yakıtı, Dizel içerisine %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilir. Bu şekilde elde edilen yakıtın dizel yakıtına göre maliyetinin daha düşük olduğu ve performans değerlerinin de dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiştir.

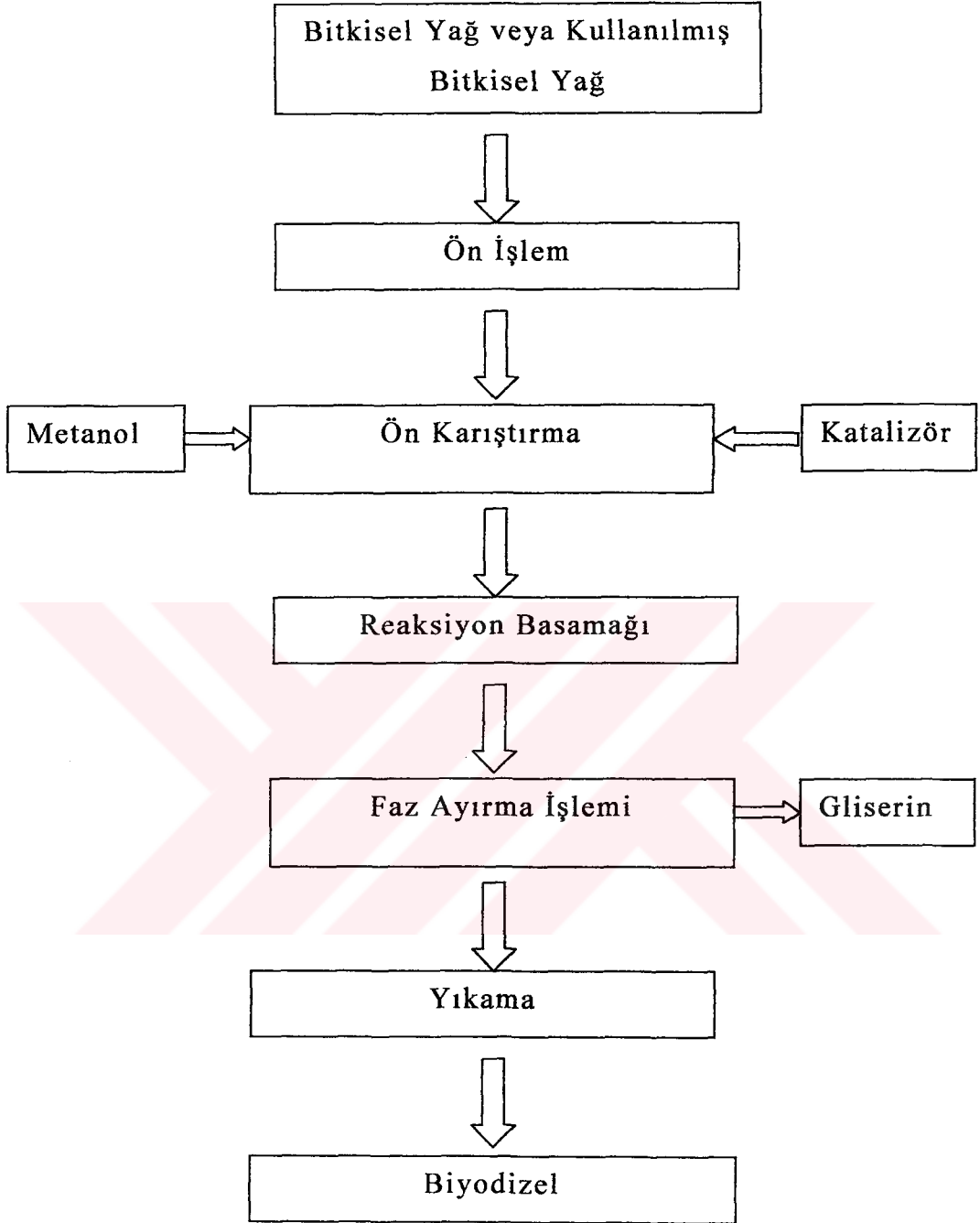
2.2.2. Transesterifikasyon yöntemi:

Bitkisel yağların, dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntemdir. Bu yöntemde alkoliz reaksiyonu adı da verilmektedir.

Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizatör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bu reaksiyon sonucu biyodizel elde edilmektedir

Yakıt olarak kullanılacak yağlardaki ilk işlem, yoğunluğunu azaltmaktır. Yağları alkolle esterleme işlemi, alkolün katalizör etkisinden de faydalanmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu işlemlerin sonucunda, her 100 birim biyodizel yakıt elde edilirken 11 birim gliserin ortaya çıkmaktadır. Atık gibi görünen gliserin birçok sanayi alanında kullanılmaktadır. Diğer bir yakıt üretim yöntemi ise, Kolza (Brassica Napus): Avrupa kökenli sarı çiçekli yağlı bir yem bitkisi) tohumlarının soğuk preslenmesidir. Bu yöntemde gliserin yan ürünü ortaya çıkmaz. İşlenmemiş yağı yakıt olarak kullanan araçlar imal edilmektedir. Fakat motor teknolojileri yeni ve seri üretimde olmadığı için, şimdilik pahalıdır. Kanada'nın su ile kimyasal işlem ismini verdiği farklı bir yöntemi de vardır.

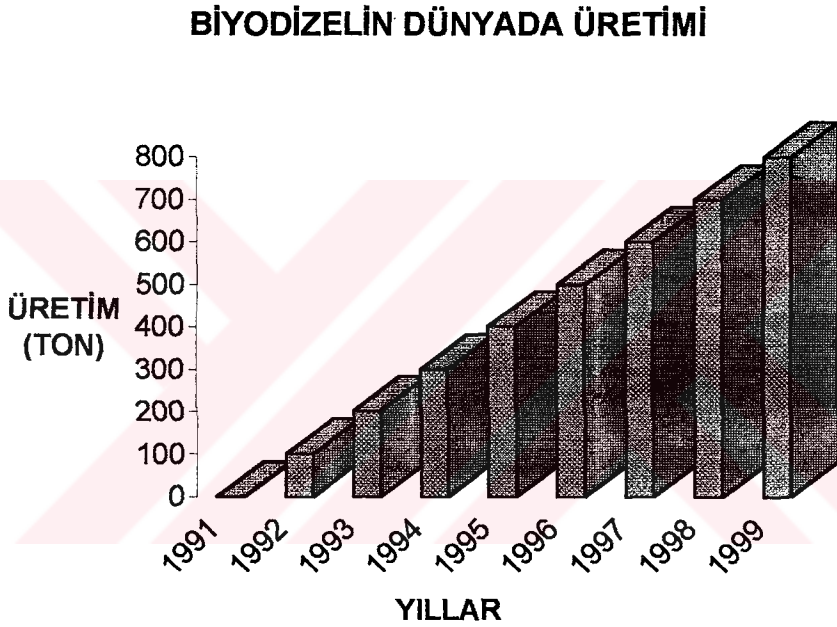
Biyodizel üretimi temel olarak bir esterleme işlemidir. Esterleme yeni bir işlem olmayıp ilk olarak 1853 yılının başında E.Duffy ve J.Patrick tanımlanmıştır. Esterlenmiş bitkisel yağ, ilk olarak II.Dünya Savaşı'nda Güney Afrika'da iş makinelerinde kullanılmıştır. Yoğunluğu mazotun iki katı ve moleküler ağırlığı ise 1/3 dür. Dizel motorların çoğu yağlamalı ve yüksek sülfür içeren yakıt sistemi üzerine tasarlanmıştır. Bu motorlarda biyodizel yakıtın kullanımı sülfür emisyonunu azaltırken yağlı içeriği ile motorun yağlanması da yardımcı olmaktadır. Egsozttan atılan yanmış yağ ise, tekrar esterleme ile yakıtı dönüştürülebilmektedir. Kimyasal olarak esterlemenin tanımı ise; ortamdan trigliserin molekülü veya yağlı asit almak, serbest asitleri nötrleştirmek, gliserini çıkarmak ve bir alkol esteri oluşturmaktır. Yukarıdaki söylenenleri gerçekleştirmek için, metanol (odun alkolü) sodyum hidroksitle karıştırılır ve sodyum metoksit elde edilir. Bu tehlikeli sıvı bitkisel yağla karıştırılıp dinlenmeye bırakılınca, gliserin dibeye çöker ve metil ester (biyodizel) üstte kalır. Gliserin başta sabun olmak üzere 1500 çeşitten fazla üründe kullanılmaktadır. Şekil 2.2' de biyodizel üretimi şematik olarak sunulmuştur. Üretim teknolojisinde zorluk bulunmamaktadır. Üretimdeki en önemli nokta biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Biyodizel %99 değeri üzerinde saf üretilmelidir.



Şekil 2.2: Biyodizel Üretimi (Ulusoy ve Alibaş 2002).

2.2 Biyodizel Uygulamaları

Biyodizel; Batı Avrupa'da 44 tesiste (İtalya 11 tesis ile lider), Doğu Avrupa'da 29 tesiste (Çek Cumhuriyeti 16 tesis ile lider), Kuzey Amerika'da 8 tesiste, diğer ülkelerde 4 tesiste üretilmektedir. Şekil 2.3' de, biyodizel dünya üretim değerleri verilmektedir. Biyodizelin dünya genelindeki uygulamalarına örnek olarak Avusturya, Fransa, İtalya ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki son durum aşağıda açıklanmıştır. (Karaosmanoğlu, 2002).



Şekil 2.3 :Biyodizel dünya üretimi (Karaosmanoğlu, 2002)

Avusturya, biyodizel uygulamasında önder ülkelerden biridir. 2000 yılında Avusturya'da 30000 ton /yıl üretim, biri pilot ölçekte olan 7 ticari tesiste yapılmakta ve en büyük üretici firma yılda 22000 ton kapasite ile çalışmaktadır. Biyodizel kolza yağı ve kullanılmış kızartma atık yağlarından elde edilmektedir. Dizel motorunda %100 oranında biyodizel kullanımı durumunda %95 vergi indirimi yapılmaktadır.

Fransa'daki biyodizel uygulamaları Sofiproteol, Rouen, Novaol gibi biyodizel üreticiler, Peugeot, Citroen, Renault gibi otomotiv üreticileri ve Elf, Total gibi petrol firmaları genelinde Avrupa Birliği politik desteği ile gerçekleştirilmektedir. Fransa, özellikle biyodizelin çevre dostu niteliğini ön plana çıkarmakta, kolza yağından üretim yapılmakta ve 32 üye şehri olan "Club de Ville" adlı biyodizel şehirler arası ağı ile toplu taşıma otobüslerinde biyodizel ve biyodizel-motorin karışımları vergi indirimi desteği ile kullanılmaktadır. Rouen firması 1999/2000 sezonunda 180000 ton biyodizel üretmiştir. Biyodizelin satış fiyatı 0.3 ECU (2 FF) olup, bu fiyatın 2005 yılında 1 FF değerine indirilmesi planlanmaktadır. İtalya'da Novamont, Estereco, Olefici, Comlube gibi 11 adet firmada 125000 ton/yıl biyodizel üretimi ayçiçek ve kolza yağından yapılmaktadır. Biyodizel daha çok otobüslerde vergi indirimi ile kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde "National Clean Cities" programı kapsamında biyodizel kullanılmaktadır. Biyodizel, kolza, ay çiçek, soya ve kullanılmış kızartma atık yağlarından Twin Rivers Technology, Procter and Gamble, Pasific Biyodizel, Columbus Foods gibi firmalarca üretilmektedir. Bu ülkede vergi indirimi uygulaması olmayıp, belirli bazı düzenlemeler getirilmiştir. Şehir içi otobüslerde, deniz taşıtlarında ve askeri taşıtlarda biyodizel ve/veya karışımları kullanılmaktadır. Biyodizel galon satış fiyatı 2 \$'dır. (Karaosmanoğlu, 2002).

BÖLÜM 3

ENERJİ VE ENERJİNİN KORUNUMU

3.1.Giriş

Enerji, çağdaş yaşamın ve sanayileşmenin vazgeçilmez bir parçasıdır. Dünyada enerji kaynaklarının sınırlı olması, hükümetleri enerji politikalarını gözden geçirmeye ve enerji savurganlığını önlemeye yöneltmiştir. Bu olgu, bilimsel çevreleri de enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye, aynı zamanda alternatif enerji kaynaklarının araştırılmasına ve varolan enerji kaynaklarından daha çok yararlanmak için yeni yöntemler geliştirmeye itmiştir.

Bugünkü teknolojide gerekli enerjiyi elde etmek için en çok kullanılan yakıtlardan biri de, sıvı yakıtlardır. Burada elde edilen enerji sanayide, içten yanmalı motorlarda, gaz türbinlerinde ve sıvı yakıtların kullanıldığı ulaştırma araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu enerjiyi elde ederken ve kullanırken ulaştırma araçlarının ve diğer enerji birimlerinin çalışması esnasında doğaya verilen zararın minimuma indirilmesi, daha fazla verim ve yakıt ekonomisi gibi talepleri gidermek için araştırmalar devam etmektedir. Bir sıvı yakıtlı yanma sisteminde yanma işleminin analizi, temel olarak değişik çevre şartlarındaki bir yakıt damlasının yanması süresince fiziksel ve kimyasal prosesin bilinmesine bağlıdır. Şu ana kadar yapılan çalışmaların bir çoğu enerjinin korunumu ile ilgilidir. Bu yasa, bir hal değişimi sırasında enerjinin hesabını tutmakla ilgilidir. Termodinamiğin ikinci yasası ise, enerjinin niteliği ile ilgilidir. Daha da açık söylenirse, bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma olanağının değerlendirilmesi, bu yasanın inceleme alanı içindedir. Uygulamadaki sistemlerde ise genellikle enerjinin niteliğini öne çıkaran iyileştirmeler yapılması, daha öneme haizdir.

Termodinamikte bir ısı makinesinin birinci yasa verimi veya ısı verimi, makinenin yaptığı net işin, makineye verilen ısı enerjisiye oranı olarak tanımlanmıştır. Başka bir deyişle ısı verim verilen ısı enerjinin ne kadarlık bir bölümünün işe dönüştüğünü belirtir. Genel olarak birinci yasa verimi, elde edilmek istenen değerin, bu değeri elde etmek için harcanması gereken değere bölünmesi ile bulunur. Birinci yasa verimi olabilecek en iyiyi göz önüne almadığı için etkinlik ve kalite için tek başına gerçek bir kıstas değildir. Bu eksikliği kapatmak için ikinci yasa verimi tanımlanmıştır. İkinci yasa verimi gerçek çalışma düzeyi ile olabilecek en iyiyi karşılaştırır. Isı makineleri için ikinci yasa verimi, gerçek ısı veriminin, aynı koşullarda gerçekleşebilecek en yüksek (tersinir) ısı verime oranı olarak tanımlanır.

Isı veya iç enerji şeklindeki ısı enerjisi, ekserji ve anerji gibi iki kısımdan meydana gelir. Ekserji referans olarak çevre şartlarını dikkate alınması durumunda, belirlenen faydalı işin maksimum değerine karşılık gelir. Buna karşılık anerji ise, enerjinin işe dönüştürülmesi esnasında faydalanılmayıp kaybolan kısmını gösterir ve bazen ekserji yıkımı olarak tanımlanır. Bu tanımlar ışığında ekserji, enerjinin niteliğini temsil eder. Termodinamiğin ikinci kanuna göre belirlenen ekserji, enerjinin dönüşümü veya transferinin bulunduğu gerçek proseslerde tersinmezliklerden dolayı belli bir miktar azalır. Tersinmezlik, yararlanamadığımız iş olanağı veya potansiyelidir ve genelde gerçek fiziksel olgulardaki kusurlardan kaynaklanır. Ekserji analizinin uygulanması, öncelikle birim zamandaki entropi üretiminden kaynaklanan proses tersinmezliğini belirlenmesini ve ayrıca ilgili işletme parametrelerinin fonksiyonu olarak ekserji kaybı ve ekserji transferinin hesaplanmasını sağlar.

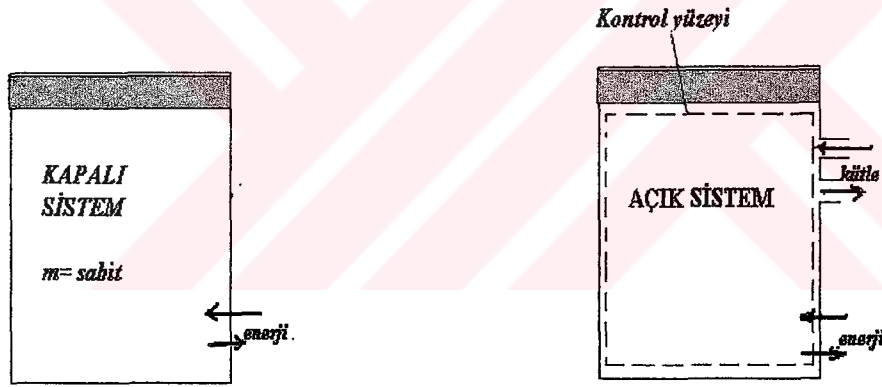
3.2. Termodinamiğin Birinci Yasası ve Enerji Analizi

Doğanın en temel yasalarından biri, enerjinin korunumu yasasıdır. Bu kanuna göre doğada bulunan tüm enerji kaynakları, boyutu değiştirileceği zaman bir enerji ilavesine veya iş aktarımına ihtiyaç duyarlar. Doğada hiç bir şey miktar olarak israf edilmez. Belki değişik boyutlara dönüşebilirler ama miktar olarak değişmezler. Termodinamiğin Birinci Yasası aynı zamanda eşdeğer miktarda bir enerji tüketmeden bir makinenin asla çalışmayacağını da vurgular. İşte bu yasa temel olarak, enerjinin başka bir biçime dönüştürülebileceğini, fakat toplam miktarının sabit kalacağını

belirtilir. İçten yanmalı motorlar örnek olarak verilirse, motora ve enjekte edilen yakıt, silindire girer girmez sıcaklık basınç ve benzinli motorlarda ateşlemenin etkisiyle hava ile yanma tepkimesine girerek çevresine ısı ve iş verir. Sonuçta tepkimeye giren yakıt ve hava miktarlarıyla eşit miktarda eksoz gazı oluşturur.

Termodinamikte ısı ve iş alışverişinin olduğu kütle veya bölge termodinamik sistem veya sistem olarak adlandırılır. Sistemin dışında bölgeye çevre denir. Sistemi çevresinden ayıran gerçek ya da hayali yüzeye sınır denir. Sistemi kapalı ve açık sistemler olmak üzere iki kısımda incelenir. Sistemle çevresi termodinamik olarak incelenirken sistemin açık veya kapalı olmasına göre bir yöntem izlenir.

Kapalı sistem sınırlarından kütle geçişi olmayan ve sadece enerji geçişine izin verilen sistemdir. Açık sistem ise, belirli sınırlar içinde kütle ve enerji geçişine izin veren sistemlerdir. Şekil 3.1’de açık ve kapalı sistemler şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Kapalı ve açık sistemler.

Enerji, evrende ısı, mekanik, elektrik, potansiyel, kinetik, nükleer, manyetik gibi çok çeşitli biçimlerde olabilir. Bir sistem için ele aldığında bu enerjiler sistemin toplam enerjisini (E_T) oluşturur. Sistemin birim kütlesi esas alınarak tanımlanan özgül toplam enerji, e_t ile gösterilir. Sistemin birim kütlesi m olmak üzere toplam enerji ise,

$$E_T = m \cdot e_t \quad (3.1)$$

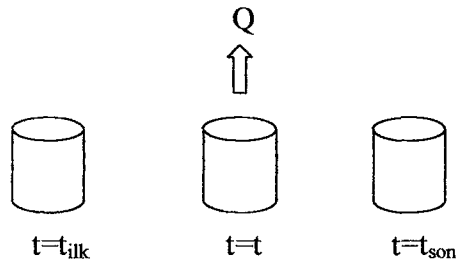
Termodinamiğin Birinci Yasasının en önemli sonuçlarından biri toplam enerji adı verilen bu enerji büyüklüğünün varlığını ortaya koyması ve tanımının yapılmasıdır. Kapalı bir sistemin belirli iki hal arasındaki tüm adyabatik (ısı alışverişi olmadan) hal değişimleri için net işin aynı olması, net işin sadece ilk ve son hallerde bağlı olduğunu, bu nedenle de sistemin bir özelliğindeki değişimle ilişkili olması gerektiğini göstermektedir. Birinci yasa, sadece adyabatik bir hal değişimi sırasında, sistemin toplam enerji değişiminin net işe eşit olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle referans hali belirleyip toplam enerjiye bu halde herhangi bir değer atanır.

BÖLÜM 4

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU VE EKSERJİ ANALİZİ

4.1. Termodinamiğin İkinci Kanunu

Termodinamiğin birinci yasasını açıklarken, enerjinin diğer bir enerji türüne geçerken miktarının değişmediğini ve muhafaza edildiği ifade edildi. Bu hal değişimin sırasında alınan verilen ve verilen iş ve ısı ile iç enerjide meydana gelen değişmeden bahsedildi. Ama birinci yasada hal değişiminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği ve yönünün ne olacağı hakkında yorum yapılmadı. Daha anlaşılır bir dille ifade edilirse, gerçek bir dönüşümde, değişimin yönü doğal olarak kabul edilen yöndür ve bu yönün tersine olan dönüşüm genelde gerçekleşmez. Buna örnek olarak bir elektrik ısıtıcısını düşünölsün. Birinci yasaya göre elektrik enerjisi, elektrik direncinden geçen akım vasıtasıyla çevreye ısı enerjisine çevrilerek ısı yayılır. Burada elektrik enerjisi, ısı enerjisine dönüşmüştür ve bu iki enerji değişimi sonrasında korunum sağlanmıştır. Bu olayın ters yönde gerçekleşeceğini yani çevredeki ısı enerjisini bu elektrik direnci vasıtasıyla tekrar bize elektrik enerjisi sağlayacağını düşünemeyiz.



Şekil 4.1. Termodinamiğin ikinci kanununun açıklanması

Şekil 4.1' de göröldüğü üzere t_{ilk} ilk durumdaki sıcaklığı, t_{son} son durumdaki sıcaklığı ifade eder. $t_{son} > t_{ilk}$ ise; $t_{son} = t_{ilk}$ olana kadar çevreye ısı geçer. Cismin iç enerjisi azalırken çevrenin iç enerjisi artar. Bunun tersine bir proses kendiliğinden oluşamaz.

enerjisi azalırken çevrenin iç enerjisi artar. Bunun tersine bir proses kendiliğinden oluşamaz.

Bunun gibi örnekleri doğada çoğaltma mümkündür. Genelde bu tip olaylarda tek yönlü geçiş vardır. Termodinamiğin birinci yasası hal değişimlerinin yönü hakkında bir kısıtlama koymaz. Yukarıdaki örnekte olduğu gibi, değişimin hangi yönde olacağını birçok durumda bilmek zor değildir. Ancak bazı olaylarda, özellikle kimyasal değişmelerde değişimin hangi yönde olduğunu tahmin etmek güçtür. Bunu ancak sistemin bir ya da birkaç özelliğinin tek yönlü değişmesi ile anlayabiliriz. İncelenen sistem daha da karmaşık hali aldıkça bu yönü belirlemek zorlaşır. Bu yönü tespit için termodinamiğin İkinci Kanununa ihtiyaç duyulur. Şekil 4.1'deki sistem için, cisimden alınan ısı doğrudan çevreye atılmayıp bir güç çevrimine kısmen de olsa işe çevrilebilirdi. Bu durumda, sistemden maksimum işin alınmasını engelleyen bazı tersinmezlikler söz konusu olur. Termodinamiğin İkinci Kanunu, bu tersinmezliklerin nelere bağlı olarak azaldığını ve arttığını hesaplamak için somut yöntemler ortaya koyar. Denge şartlarını belirler. Çevrimler, motorlar gibi cihazların en büyük teorik performanslarını belirler.

Ayrıca Termodinamiğin İkinci Kanunu için birbirine yakın olan şu tanımlar verilebilir.

1. Sıcaklığı çevre ile aynı olan bir ısı deposundan ısı alınarak dışarıya iş yapılamaz. Böyle bir makinenin yapılması için farklı sıcaklıkta ikinci bir ısı deposuna ihtiyaç vardır. Bu tanım Carnot makinesi için yapılmıştır. Carnot makinesi sıcaklıkları birbirinden farklı olan iki ısı deposu kullanarak vermek üzere sürekli olarak çalışan (tersinir) bir makinedir.
2. Yine Carnot makinesine dayandırılarak yapılan bir tanıma göre makineden alınan işin mutlak değerinin, makineye verilen ısıya mutlak değerinin oranı daima birden küçüktür. Yani ısının tümünün işe dönüştürülemeyeceği ifade edilir.
3. Kelvin-Planck' a göre ise, sıcak depodan alınan ısının bir çevrimle işe dönüştürülmesi aynı zamanda sıcak depodan soğuk depoya ısı aktarımı olanaksızdır.
4. Emmanuel Clasius tarafından yapılan tanıma göreyse soğuk depodan sıcak bir depoya ısı aktarımı belirli bir iş vasıtasıyla olur. Bu iş ise çevreden alınır. (Örneğin evlerdeki buzdolaplarında kompresörün çevreden iş alması gibi)

Eğer bir hal değişimi gerçekleştikten sonra hem sistem hem de çevre ilk hallerine dönebiliyor iseler, hal değişimi tersinirdir denilir. Tersinmezlik ise, hal değişimi esnasında sistemin iş potansiyelini bir kısmını kaybetmesidir.

Maddenin tersinir adyabatik bir boyunca sabit kalan özelliğine entropi adı verilir. Enerjinin tersine, entropi korunan bir özellik değildir. Entropi bir nevi maddenin içindeki moleküler düzensizliktir. Bir maddenin içindeki moleküllerin düzensiz hal aldıkça moleküllerin konumları belirsizleşir ve entropi artar. Bir maddede katıdan gaz fazına gittikçe entropi yani moleküler düzensizlik iyice artar. Bir işlem esnasındaki entropi değişimi, işlemin tersinir olarak yapılmasındaki ısı alışverişinin mutlak sıcaklığa oranı olarak ifade edilir.

$$\Delta S = S - S_0 = Q_{\text{ter}} / T \quad (4.1)$$

Gaz fazında moleküllerin çok yüksek kinetik enerjileri vardır. Ama bu, rastgele dolaşan gaz moleküllerinin kinetik enerjileri ne kadar yüksek olursa olsun herhangi bir kabın içine konan bir pervaneyi döndüremeyecekleri ve iş yapamayacakları bililir. Bunun nedeni gaz moleküllerinin ve taşıdıkları kinetik enerjinin düzensiz olmasıdır. Pervaneyi bir yönde döndürmeye çalışan gaz moleküllerinin sayısı, diğere yönde döndürmeye çalışanların sayısıyla aşağı yukarı eşittir. Sonuç olarak, düzenli olmayan enerjiyi işe dönüştürmek olanaksızdır.

Isıl enerji aslında düzensiz bir enerji biçimidir ve bir miktar düzensizlik (entropi), ısı geçişi ile birlikte taşınır. Başlangıçta iken sıcakken soğuk olan bir cismin entropisi, diğer adıyla moleküler düzensizliği azalır; soğuk cismin ısı olarak sıcak hale gelmesi ile entropisi artar. Termodinamiğin İkinci Yasası, soğuk cismin entropisindeki artışın sıcak cismin entropisindeki azalmadan daha büyük olmasını gerektirir ve bu durumda sıcak ve soğuk cisimleri içine alan bileşik sistemin entropisi artar.

Enerjinin miktarı gerçek bir hal değişimi sırasında her zaman korunur (birinci yasa), fakat niteliği azalmak zorundadır (ikinci yasa). Nitelikteki bu azalma entropi artışı ile beraber olur. Örneğin 10 kJ ısının yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama geçmesi ele alınsın. Bu hal değişimi sonrasında 10 kJ enerji

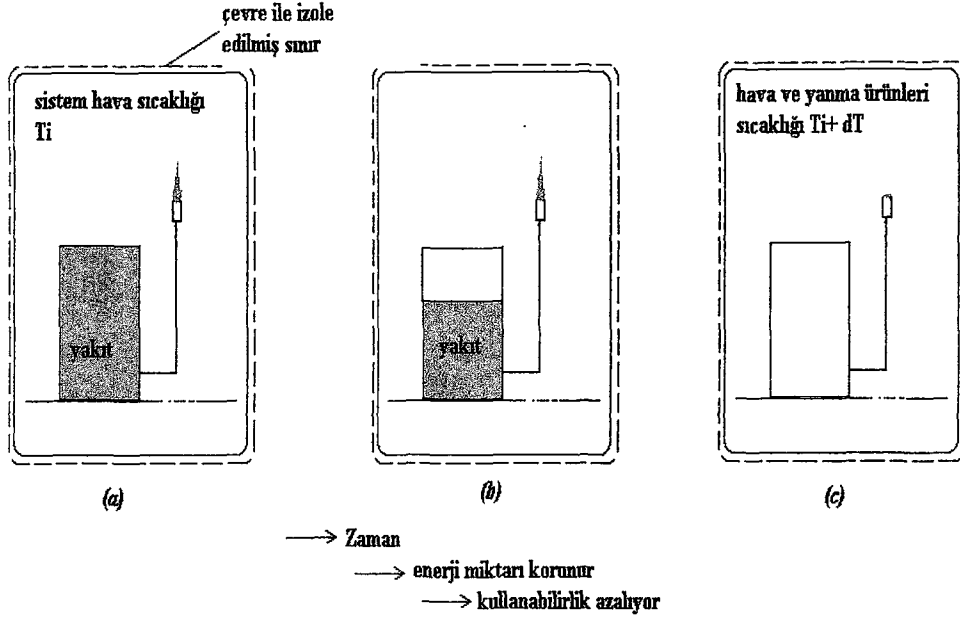
gene vardır, fakat daha düşük bir sıcaklıkta olduğundan niteliği azalmıştır. Buraya kadar termodinamiğin temel yasalarından birinci ve ikinci kanunlar üzerine durulmuştur. Bundan sonra çalışan enerji sistemleri için kullanılabilir enerji olarak ta isimlendirilen ekserji kavramı üzerinde durulacaktır.

4.2. Ekserji ile İlgili Temel Kavramlar

4.2.1 Ekserjinin tanımı:

Çevre sıcaklığında çalışan enerji sistemleri için, kullanılabilir enerji olarak da bilinen ekserji, enerjinin faydalı kısmı olarak ifade edilebilir. Ekserji Fransızca kökenli bir kelime olup ABD’de “kullanılabilirlik” olarak kullanılır. Moran (1989), ekserjiyi “essence of energy” yani enerjinin özü olarak tanımlamışlardır. Ekserji yada kullanılabilirlik, diğer bir tanımda ise sistemin çevresi ile ısı, mekanik ve kimyasal dengeye gelene kadar sistemden halinde iken teorik olarak alınabilecek maksimum iştir. Ekserji enerjinin faydalı kısmı, enerjinin başka enerji şekline, mekanik işe dönüştürülebilir kısmıdır. Buna göre Birinci Kanun ekserji analizi için tekrar ifade edilirse, ekserji ve ekserji kayıplarının toplamı sabit kalır. İkinci kanuna göre ise tersinir süreçlerde ekserji sabit kalır. Bütün tersinmez süreçlerde giren ekserji korunamaz ve ekserji kaybına dönüşür, kullanılamaz hale gelir. Bu kayıpları ekserjiye dönüştürmek olanaksızdır. Bir madde veya bir enerji akışına bağlı ekserji, baca veya eksoz gazı, soğutma suyu ve ısı kaybı şeklinde çevreye atılır. Termodinamiğin ikinci kanuna göre enerjinin her şekil yada durum değiştirmesinde kalitesinde düşme yaşanır. Entropi üretimi ile beraber enerjinin kalitesinde düşüş olur (Wall, 1998). Ekserji kaybı (yıkımı) ise, bu tersinmezliklerden dolayı kullanamayan enerjidir. Ekserji kaybı, Termodinamiğin İkinci Kanunu analizi ile sistem üzerinde ekserji analizi uygulanarak yapılır.

Ekserji analizi metodu enerji kaynaklarının en etkin kullanımını sağlamak için kullanılır.



Şekil 4.2. Ekserji kavramının şekille ifadesi (Moran and Shapiro, 2000)

Ekserji kavramını daha iyi açıklayabilmek için Şekil 4.2 incelenecektir. Şekil 4.2a' da çevresi izole edilmiş bir çevre içersinde bulunan bir yakıt deposunun içindeki yakıt zamanla yanma işlemine tabi tutulmaktadır. Burada sistem içindeki havanın ilk sıcaklığı T_i dir. Şekil 4.2 b de yanma işlemi devam etmekte ve sonuçta Şekil 4.2 c' de görüldüğü gibi hava ile karışmış olan $T_i + dT$ sıcaklığında olan yanma ürünleri elde edilmektedir. Bu esnada, sistem içindeki enerji miktarı korunmaktadır. İlk durumundaki yakıt ve hava kombinasyonu ekonomik olarak ve kullanılabilirlik olarak son durumdan daha avantajlıdır. Örneğin bu yakıt ve hava kombinasyonu kullanılarak, buharlı çevrim ile elektrik elde edilebilirdi. Ancak bu yapılmadı ve hava ile yakıt tepkimeye sokulup $T_i + dT$ sıcaklığında hava ile yanma ürünlerinin karışımı elde edildi. Bu prosesin işletilmesi ile yakıtın enerji potansiyeli doğadaki tersinmezliklere sarf edildi. Buradan şu da anlaşılabilir enerjinin korunduğu, ekserjinin tersinmezliklerden dolayı korunamadığı anlaşılmaktadır. (Moran and Shapiro, 2000).

Sınır, çevre, kapalı ve açık sistemlerin tanımı Bölüm 3' de tanımlanmıştı. Ekserji, yok edilebilir ve genellikle korunamaz. Ekserji, ısı transferine eşlik ederek sisteme girebilir veya çıkabilir, akışkan akımları ile de sisteme girip çıkabilir. Enerjiyi

verimli kullanabilmek için ekserji analizi yapılarak, ekserjinin yok edildiği veya kaybedildiği yerleri belirlemek gerekir.

4.2.2. Ölü hal ve sınırlı ölü hal

Bir sistemin iç ve dış parametreleri, yani sistemin basıncı sıcaklığı, bileşimi, sistem içindeki prosesi oluşum hızı sistemin boyutu çevresinden farklı ise, çevre ile arasındaki bu parametrelerin farklı olmasından dolayı bir etkileşim meydana gelir ve bu da işin artmasına sebep olur. Belirlenmiş bu referans çevre ile aralarındaki etkileşimle kombine olarak dengeye ulaştıklarında, iş yapabilme imkanları önce azalır, sonra da tamamen ortadan kalkar. İşte sistemin bu denge haline ölü hal denir (Moran, 1989).

Ölü halde iken, çevre ile sistem arasında mekaniksel, ısıl ve kimyasal denge şartları oluşmuş durumdadır. Bu şartlar altında, sistem veya çevre içersindeki kendiliğinden ne bir değişimin meydana gelme ihtimalinden ne de aralarında bir işin yapılması ile ortaya çıkan bir etkileşimden söz edilemez

Sistem ile çevre arasındaki diğer bir hal ise, sınırlı ölü haldir. Sistemin bu halinde, ise çevre ile sadece ısıl ve mekaniksel şartlarda denge olur. Sınırlı ölü halde çevrenin T_0 sıcaklığı ve p_0 basıncında sistemle çevre arasında bir kütle akışı olmadığı ve madde miktarının sabit kaldığı düşünülebilir. Ayrıca bu halde sistem çevre ile kimyasal etkileşimini ve karışmasını engellemek için, fiziksel bir sınır ile sistem çevreden ayrı tutulur.

Bu açıklamalardan şu sonuç çıkabilir. Sistem, başlangıç durumdan ölü hale gelinceye kadar mümkün olan maksimum işi sağlayacaktır. Bu da belli bir durumdaki sistemin faydalı iş potansiyelini temsil eden ekserjisi ya da kullanılabilirliği.

4.2.3. Ekserjinin bileşenleri

Sistemin çevresinden nükleer, manyetik, elektriksel ve yüzey gerilimi etkilerinin olmadığı bir sisteminin toplam ekserjisi E dört bileşenden oluşur.

$$E = E_{FİZ} + E_{KİM} + E_{KN} + E_{POT} \quad (4.2)$$

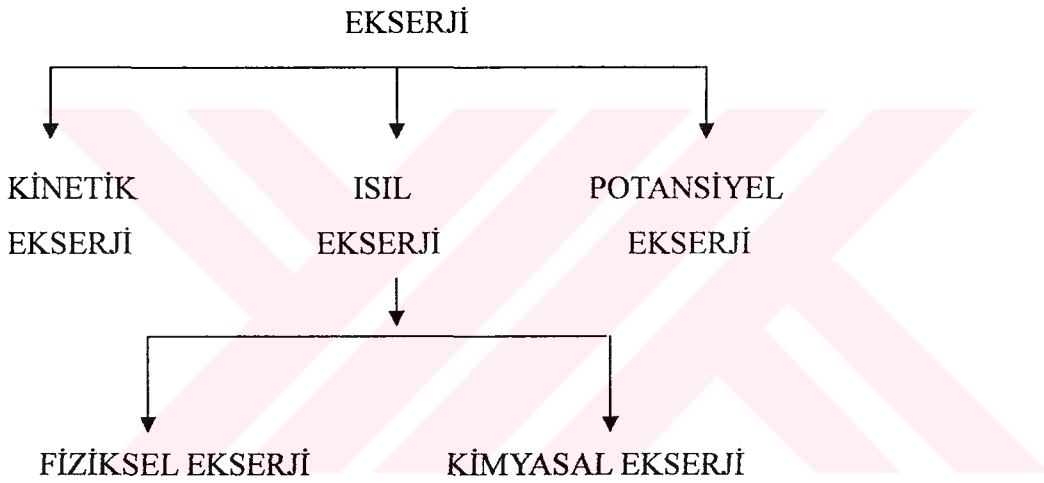
E = Sistemin toplam ekserjisi

$E_{FİZ}$ = Sistemin fiziksel ekserjisi

$E_{KİM}$ = Sistemin kimyasal ekserjisi

E_{KN} = Sistemin kinetik ekserjisi

E_{POT} = Sistemin potansiyel ekserjisi



Şekil 4.3. Sistem sınırlarından girip çıkan madde akışının ekserji bileşenleri

Fiziksel ve kimyasal ekserji, ısı ekserji çatısı altında ifade edilebilir. Kinetik, potansiyel ve fiziksel ekserjilerin toplamı literatürde termomekanik ekserji olarak ifade edilir. Ekserji toplamını mol veya kütle olarak ifade edersek özgül ekserji, e aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$e = e_{fiz} + e_{kim} + e_{kn} + e_{pot} \quad (4.3)$$

Çevre dikkate alınarak bir sistemin potansiyel ve kinetik enerjileri hesaplandığında, sistemin çevresi ile ilişkisi olmadan da bu enerjiler tamamen işe çevrilebilirler. Bu yüzden kinetik ve potansiyel enerjiler aşağıdaki gibi ifade edilebilirler.

$$e_{kn} = 1/2V^2 \quad (4.4)$$

$$e_{pot} = g.z \quad (4.5)$$

Burada g, V ve z ifadeleri sırasıyla yerçekimi ivmesi çevredeki koşullarla ilişkili hız ve yüksekliği gösterir. Böylece (4.3) Denklemi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$e = e_{fiz} + e_{kim} + 1/2V + g.z \quad (4.6)$$

Çevre ile ilişkili bir sistem düşündüğümüzde kinetik ve potansiyel ekserji sıfıra eşittir ($e_{kn} = e_{pot} = 0$). Kinetik ve potansiyel ekserji değerleri durağan sistemlerde ihmal edilir. Kimyasal ekserji ise sistemin sınırlı ölü halden tamamen çevre ile aynı koşullara sahip olduğu ölü hale geçerken elde edilen maksimum teorik iştir (Bejan, 1996 ve Ahrendts, 1980).

4.2.4. Fiziksel ekserji

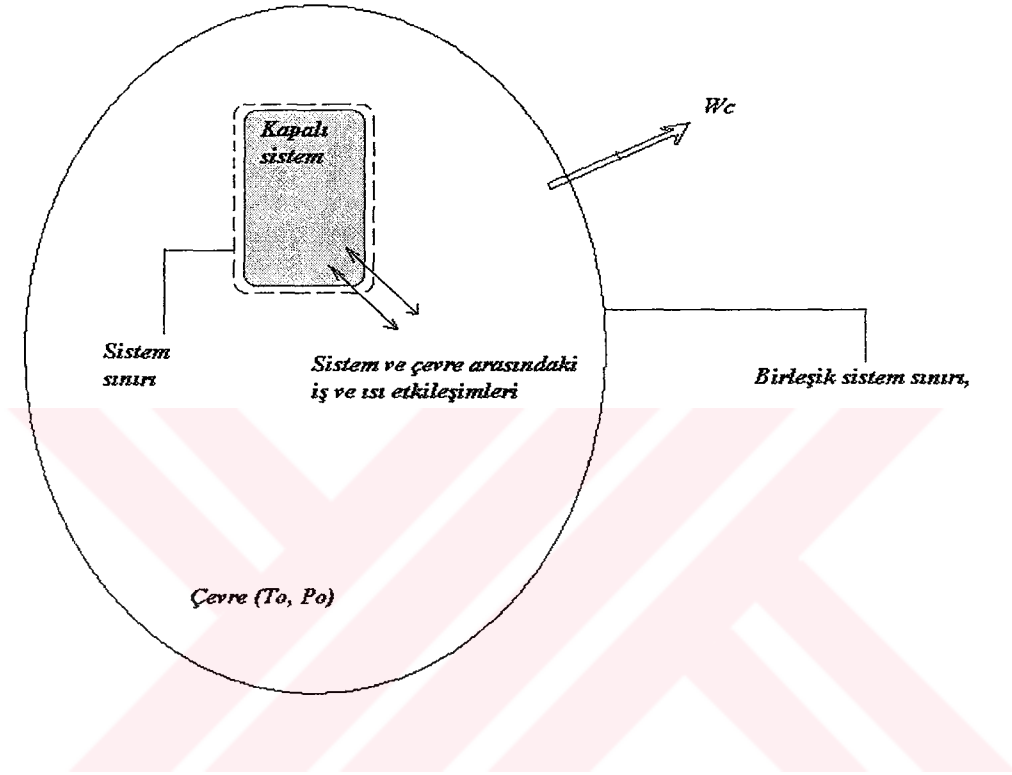
Fiziksel ekserji sıcaklığı T, basıncı p olan ilk halden sıcaklığı T_0 , basıncı p_0 , son yani ölü hale gelinceye kadar elde edilen maksimum teorik iştir. Belirli bir haldeki kapalı bir sistemin fiziksel ekserjisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$E_{fiz} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (4.7)$$

Burada U, V ve S sırasıyla belirli haldeki sistemin, U_0 , V_0 , S_0 ise ölü haldeki sistemin iç enerjisi, hacmini ve entropisini gösterirler.

Kapalı sistemin çevre ile olan entropi ve enerji dengelerinin uygulanması şekil 4.4' de görülmektedir. Sistem, çevreden yalıtılmıştır. Burada amaç birleşik sistem tarafından üretilen maksimum teorik işi bulmak olduğundan birleşik sistemin sınırı sadece ona karşı yapılan iş ve enerji dengesine müsaade eder. Bu durum, gelişmiş

olan işin kapalı sisteme veya kapalı sistemden ısı transferi ile etkilenmemesi ile olur. Sistem ve çevrenin hacimleri değişebildiği halde birleşik sistemin sınırı, toplam hacim sabit kalacak şekilde dizayn edilir. Bu dizayn, geliştirilen işin kullanışlı olmasını sağlar.



Şekil 4.4. Kapalı sistem ve çevreden oluşan bileşik sistem (Moran and Shapiro, 2000)

Bu bileşik sistem için enerji dengesi denklemi yazılırsa ;

$$\Delta U_C = Q_C - W_{CV} \quad (4.8)$$

$$W_{CV} = - \Delta U_C \quad (4.9)$$

Burada Denklem (4.8)'de görülen Q_C , sistem adyabatik olduğundan yani ısı alışverişi olmadığından sifıra eşittir. Ayrıca W_{CV} , bileşik sistem tarafından yapılan iş ΔU_C ise bileşik sistemin iç enerji değişimidir. Yani kapalı sistemin ve çevresinin iç enerji değişimleri toplamıdır. İlk halde kapalı sistemin iç enerjisi U olarak belirlenir ve

kinetik, potansiyel, iç enerjiyi kapsar. Kinetik ve potansiyel enerji çevre ile bağıntılı olarak hesaplanır. Sınırlı ölü durumdaki sistemin iç enerjisi U_0 olarak gösterilir ve buna bağlı olarak ΔU_C şöyle gösterilebilir.

$$\Delta U_C = (U_0 - U) + \Delta U^c \quad (4.10)$$

Burada ΔU^c , çevrenin iç enerji değişimini gösterir. T_0 , p_0 ve çevrenin bileşimi sabit kaldığında ΔU^c çevrenin entropisi S^c ve hacmi V^c deki değişimler farkıyla bulunur.

$$\Delta U^c = T_0 \cdot \Delta S^c - p_0 \cdot \Delta V^c \quad (4.11)$$

(4.8), (4.9) ve (4.11) Denklemleri birleştirildiğinde;

$$W_{CV} = (U - U_0) - (T_0 \cdot \Delta S^c - p_0 \cdot \Delta V^c) \quad (4.12)$$

Birleşik sistemin toplam hacmi sabit olduğunda çevrenin hacmindeki değişme kapalı sistemin hacmine zıt yönde eşittir. $\Delta V^c = -(V - V_0)$. Daha sonra iş ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$W_{CV} = (U - U_0) + p_0(V - V_0) - T_0 \cdot \Delta S^c \quad (4.13)$$

Bu Denklem bileşik sistemin sınırlı ölü hale gelinceye kadar çevreyle etkileşimli olarak ürettiği iş miktarını verir maksimum teorik iş ifadesini entropi dengesi ifadesi yazıldıktan sonra bulunabilir.

Entropi dengesi yazılırsa,

$$\Delta S_c = \sigma_{cv} \quad (4.14)$$

σ_{cv} , kapalı sistem çevre ile dengeye geliyor iken birleşik sistem içersindeki entropi üretimini gösterir. ΔS_c ise bileşik sistem için, ΔS^c ise çevre için entropi değişimlerinin toplamıdır.

$$\Delta S_c = (S_0 - S) + \Delta S^c \quad (4.15)$$

S ve S_0 sırası ile verilen halde ve sınırlı ölü halde kapalı sistemin entropisini gösterir. Son iki Denklem W_{CV} için birleştirilirse,

$$W_{CV} = (U - U_0) + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) - T_0 \cdot \sigma_{cv} \quad (4.16)$$

Altı çizili olan ifade kapalı sistemin ilk başlangıç ve sınırlı ölü halleri belirler. $T_0 \cdot \sigma_{cv}$ ifadesi ise kapalı sistemden sınırlı ölü hale geçişte prosesin durumuna bağlıdır. $T_0 \cdot \sigma_{cv}$ ifadesi aynı zamanda tersinmezlikler var olduğunda pozitiftir. Tersinmezlikler olmadığı zaman ise $T_0 \cdot \sigma_{cv}$ yerine sıfır konulduğunda birleşik sistem için maksimum teoriksel değer elde edilir. Bu aynı zamanda fiziksel ekserji değerinin de maksimum değerine eşittir.

$$E_{fiz} = W_c = (U - U_0) + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (4.17)$$

Diğer taraftan fiziksel ekserjiyi kütle veya mol birimleriyle yani bağıl olarak da yazılabilir. Bu durumda kütleli özgül ekserji,

$$e_{fiz} = (u - u_0) + p_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.18)$$

4.2.5. Ekserji dengesi

Bir sistem için ekserji analizi yapılırken o sistemdeki ekserji transferinin kontrolü ekserji dengesini inceleyerek olur. Burada ekserji transferi üç biçimde ifade edilir: Kontrol hacminden olan iş transferine eşlik eden ekserji transferi, ısı transferine eşlik eden ekserji transferi ve kontrol hacmine kütle giriş / çıkışına eşlik eden ekserji transferi. Tüm ekserji transferleri ekserji tanımına ve çevreye bağlı olarak hesaplanabilir. Ekserji yıkımı, kontrol hacmi içinde veya sistemde tersinmezliklerden dolayı oluşur.

Ekserji dengesi kontrol hacimleri için veya kapalı sistemler için yazılabilir (Moran, 1989) ve (Tsatsaronis, 2000)

4.2.6 Kontrol hacimleri için ekserji dengesi ifadesi

Sürekli (kararlı) halde kontrol hacimleri için ekserji dengesi ifadesi;

$$0 = \underbrace{\sum_j E_{q,j} - W_{cv}}_{\text{ekserji transferi oranı}} + \underbrace{\sum_g E_g}_{\text{ekserji yıkımı}} - \sum_{\phi} E_{\phi} - \underline{\underline{E_D}} \quad (4.19)$$

veya

$$0 = \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \cdot Q_j - W_{cv} + \sum_g m_g e_g - \sum_{\phi} m_{\phi} e_{\phi} - \underline{\underline{E_D}} \quad (4.20)$$

Burada W_{cv} , sistem tarafından üretilen net iştir. Q_j ise kontrol hacminin T_j sıcaklığındaki sınırında n sisteme geçen ısıdır. Isı transferinden dolayı ekserji transferi,

$$E_{q,j} = Q_j \cdot (1 - T_0 / T_j) \quad (4.21)$$

g ve ϕ alt indisleri sisteme sırasıyla giren ve çıkan ekserji ve kütle birilerini gösterir. Denklem (4.20)'de $E_g = m_g \cdot e_g$ ve $E_{\phi} = m_{\phi} \cdot e_{\phi}$ olup sırasıyla giren ve çıkan akımlar ile olan ekserji transferlerini gösterir. Ekserji yıkımı E_D ifadesi, $E_D = T_0 \cdot \sigma_{cv}$ ile temsil edilir.

$$E_D = T_0 \cdot \sigma_{cv} \quad (4.22)$$

Denklemden bulunur.

Kinetik, potansiyel, fiziksel ekserji değerleri bağıl olarak ele alındığı zaman Denklem (4.23) yazılabilir. Akış halindeki bir sistemde ise fiziksel ekserji aynı zamanda termomekanik ekserji aşağıdaki gibi yazılabilir.

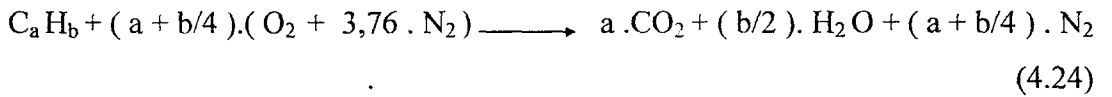
$$e_{fz} = e_{tm} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0 (\bar{s} - \bar{s}_0) \quad (4.23)$$

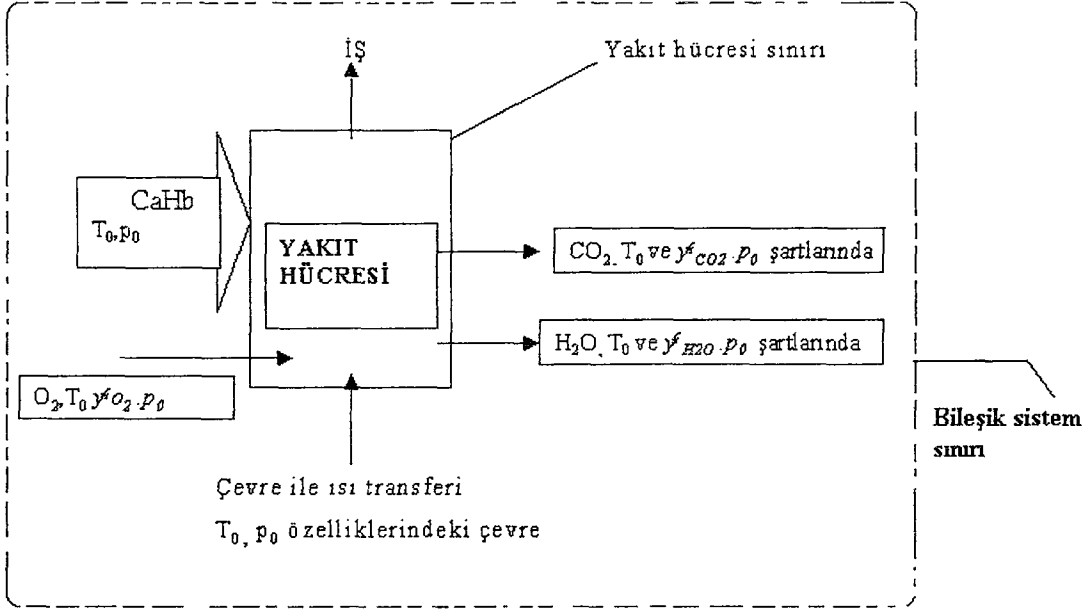
Kinetik ve potansiyel ekserji değerleri durağan sistemlerde ihmal edilir (Moran,1989) ve (Tsatsaronis, 2000)

4.2.7. Kimyasal ekserji

Kimyasal ekserji değeri hesaplanacağı zaman, sistemi içeren maddeler, uygun şekilde seçilmiş çevresel maddelerin özelliğini göstermelidir. Çünkü sistem içindeki maddeler ve çevre içindeki maddeler arasında fiziksel ve kimyasal etkileşimlerden elde edilen iş dışında bu maddeler sıcaklık, basınç ve diğer yoğun özelliklerden dolayı çevredeki uniformluk zamanla değişir. Bundan dolayı, kimyasal ekserjiyi hesaplamak için alternatif çevre modelleri kullanılır.

Kimyasal ekserji, genelde birleşik sistemde hidrokarbonların yanma tepkimelerindeki maksimum teorik işi hesaplamak için kullanılır. Örneğin C_aH_b hidrokarbonu çevresel etmenlerle beraber tepkimeye girsin. Bu hidrokarbon T_0 sıcaklığında ve p_0 basıncıda sisteme giriş yapar ve çevrede bulunan oksijenle ideal gaz karışımı oluşturarak yanma tepkimesine girer. Hesaplama yapılırken oksijenin kısmi basıncı $y^{O_2} \cdot p_0$ olur. y^{O_2} ekserji referans çevresindeki oksijenin mol kesridir. Oksijenle oluşan bu tepkime sonucunda karbondioksit ve su buharı oluşur. Yanma ürünlerinden karbondioksitin kısmi basıncı $y^{CO_2} \cdot p_0$ su buharınınki ise $y^{H_2O} \cdot p_0$ ile gösterilir. C_aH_b hidrokarbonun yanma denklemi aşağıdaki gibidir.





Şekil 4.5. C₂H₂ yakıtı için kimyasal ekserji kavramının tanımlanması (Moran and Shapiro, 2000)

Şekil 4.5' de görüldüğü gibi bir yakıt hücresinin içine T₀, p₀ özelliklerinde bir C₂H₂ yakıtı ile çevreden alınan O₂ girsin. Bu yanma tepkimesi sonunda CO₂ ve su buharı üretilsin bunların yakıt hücresinden çıkış özellikleri aynı olsun. Sürekli rejim durumunda, örneğin bu yakıt hücresini kuşatan kontrol hacmi için enerjinin korunumu:

$$\frac{W_{cv}}{n_f} = \frac{Q_{cv}}{n_f} + \bar{h}_f - \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{h}_{O_2} - a \bar{h}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{h}_{H_2O} \quad (4.25)$$

Burada kimyasal ve potansiyel enerji etkileri ihmal edilmiştir. Yakıt hücresinin zamanla hacmi değişmediği için, W_{cv} işinin herhangi bir çevre hacim değiştiğinde etkisi olmaz. Bu yüzden buradaki ifadeler, birleşik sistem içinde geçerlidir.

Isı transferi, çevre içinde T₀ sıcaklığında gerçekleşeceğinden kontrol hacmi için entropi dengesi ifadesi;

$$0 = \frac{Q_{cv}/n_f}{T_0} + \bar{s}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{s}_{O_2} - a \bar{s}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{s}_{H_2O} + \frac{\sigma_{cv}}{n_f} \quad (4.26)$$

Bu denklemden çekilen Q_{cv} ifadesi (4.25) Denklemine taşınırsa;

$$\frac{W_{cv}}{n_f} = \left[\bar{h}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{h}_{O_2} - a \bar{h}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{h}_{H_2O} \right] - T_0 \left[\bar{s}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{s}_{O_2} - a \bar{s}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{s}_{CO_2} \right] - T_0 \cdot \frac{\sigma_{cv}}{n_f} \quad (4.27)$$

Çevre özellikleri bilindiğinde, yukarıdaki denklemde yer alan bütün entropi ve entalpi terimleri bulunabilir. Bunların tamamı kontrol hacmi içinde gerçekleşen prosesten bağımsızdır. Ancak $(T_0 \sigma_{cv})$ terimi prosesi bağımlıdır. $(T_0 \sigma_{cv})$ terimi, iç tersinmezlikler mevcutsa sıfırdan büyük, tersinmezlik olmaması durumunda ise sıfıra eşit olur. Bu durumda elde edilebilecek maksimum teorik iş σ_{cv} 'nın sıfır durumu için ;

$$e_{kim} = \left[\bar{h}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{h}_{O_2} - a \bar{h}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{h}_{H_2O} \right] - T_0 \left[\bar{s}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{s}_{O_2} - a \bar{s}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{s}_{CO_2} \right] \quad (4.28)$$

e_{kim} ifadesi, Gibbs fonksiyonlarının fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$e_{kim} = \left[\bar{g}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{g}_{O_2} - a \bar{g}_{CO_2} - \frac{b}{2} \bar{g}_{H_2O} \right] + R.T_0 \ln \left[\frac{(y_{O_2}^e)^{a+\frac{b}{4}}}{(y_{CO_2}^e)^a \cdot (y_{H_2O}^e)^{\frac{b}{2}}} \right] \quad (4.29)$$

Yukarıdaki (4.29) Denkleminde yer alan özgül Gibbs fonksiyonları, aşağıdaki Denklemden bulunabilir.

$$\bar{g}(T_0, p_0) = \bar{g}_f^0 + \left[\bar{g}(T_0, p_0) - \bar{g}(T_{ref}, p_{ref}) \right] \quad (4.30)$$

\bar{g}_f^0 = Gibbs formasyon fonksiyonu

T_0 ve p_0 değerleri T_{ref} ve p_{ref} değerlerine eşit ise ,

$$\overline{g}(T_0, p_0) = \overline{g}_f^0 \quad (4.31)$$

olur.

Diğer taraftan Kotas (1985) tarafından öne sürülen diğer bir formülde, yakıtın kimyasal ekserjisinin bulunmasında alternatif bir yöntem belirtilmiştir. Bu yöntemle göre yakıtın kimyasal ekserjisinin alt ısı değere oranı (φ) yakıt içerisindeki organik maddeler olan C, O, H ve S atomları aralarındaki h/c, o/c, n/c ve a/c atomik oranları kullanılarak bulunmaktadır. Sıvı yakıtlar için,

$$\varphi = 1,0401 + 0,1728 \cdot \frac{h}{c} + 0,0432 \cdot \frac{o}{c} + 0,2169 \cdot \frac{\alpha}{c} \left(1 - 2,0628 \cdot \frac{h}{c} \right) \quad (4.32)$$

Bu formül yaklaşık olarak $\pm\%0,38$ oranında hata payı ile doğruluk sağlar.(Kotas,1985)

Bu durumda bir hidrokarbonun kimyasal ekserjisi,

$$e_{kim} = H_u \cdot \varphi \quad (4.33)$$

Elde edilir.

4.2.8. Standart kimyasal ekserji

Standart kimyasal ekserjiler çevresel sıcaklık için T_0 ve basınç için p_0 standart değerleri kabul edilerek hesaplanan ekserji değerleridir. Burada $T_0=298$ K (25 C⁰) sıcaklık ve $p_0= 1$ atm basınçtır. Standart çevre yaklaşık olarak doğal çevrenin kimyasal yapısını yansıtan standart konsantrasyonlar ile bir seri referans maddeler içerir. Bu referans maddeler genelde üç bölümde incelenir; atmosferin gazlı bileşenleri, yer küreden katı maddeler ve okyanuslardan iyonik ve iyonik olmayan maddeler. Literatürde iki alternatif standart ekserji referans çevresi belirlenmiştir. Bunlar Model 1 ve Model 2 olarak adlandırılırlar. (Ahrendts,1980) (Szargut, 1988)

Ahrendts (1980)'e göre Model 1 için referans maddeler, nitrik asit ve nitratlar için kabul edilen kimyasal denge ile atmosfer okyanuslar ve yer kürenin bir kısmının diğer bütün kimyasal bileşenleri için kısıtlanmış termodinamik dengenin kabul edilmesiyle ifade edilirler. Model 1, termodinamik teorisinin denge gereksinimlerini karşılamaya çalışır özellikle gaz fazındaki kimyasal bileşikler için doğal atmosfer çevresindeki bileşiklerin değerlerine yaklaşılır. Model 2 de ise ekserji referans çevresinin kimyasal bileşimi doğal çevrenin bileşimine daha yakın olur ama denge ihtiyacı tatmin edici değildir (Bejan,1996), (Ahrendts,1980).

Şekil 4.6' de gösterilen kararlı haldeki cihaz için, çevre havasında gaz fazında mevcut bir gaz için standart kimyasal ekserji hesabı aşağıda gibi verilebilir. T_0 sıcaklığında ve p_0 basıncındaki k gazının girişleri, sadece çevre ile ısı transferi sonucu oluşan izotermal genleşmeler T_0 sıcaklığı, $y_k^c \cdot p_0$ k gazının kısmi basıncında çevreye çıkar. W_{cv} işi ise k gazının tersinmezlikler olmaksızın net iştir.

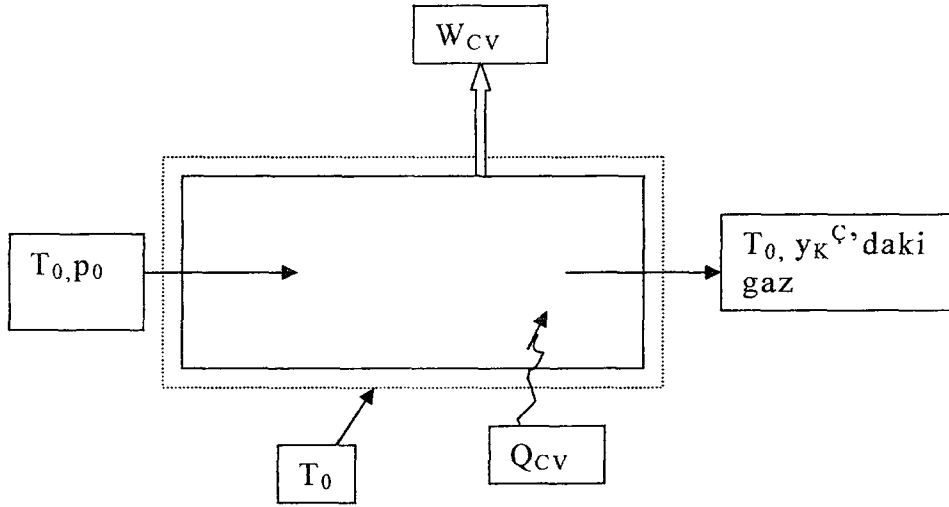
$$e_{\kappa}^{KIM} = -\bar{R}T_0 \cdot \ln \frac{y_k^c \cdot p_0}{p_0} \quad (4.34)$$

Buradan;

$$e_{\kappa}^{KIM} = -\bar{R}T_0 \cdot \ln y_k^c \quad (4.35)$$

ya da logaritmik olarak bu formülü değiştirilirse,

$$e_{\kappa}^{KIM} = \bar{R}T_0 \cdot \ln \frac{1}{y_k^c} \quad (4.36)$$



Şekil 4.6. Bir gazın kimyasal ekserjisinin hesaplanması için gerekli düzenek

4.2.9. Ekserjik verim (rasyonel verim)

Verilen bir sistemde, sistem dışından verilen Q ısı verildiği zaman, (veya bu sisteme Q ısı değeri kadar bir yakıt ilave edildiği zaman) sistemden W_{cv} iş alınıyorsa söz konusu sistemin ekserjik verimi:

$$\varepsilon = W_{cv} / E_F \quad (\text{İş üretimi olan durumlar için}) \quad (4.37)$$

Burada,

E_F = Sisteme verilen (giren) ekserji (kW)

Termodinamik sistem, birbirinden farklı görevler yapan çeşitli birimlerden oluşur. Bu birimler çalışırken bazı tersinmezliklere neden olur. Verimin yüksek olabilmesi için birimlerin her birinde oluşan kayıpların olabildiği kadar azaltılması gerekir. İçten yanmalı motorlar için ise yanma havası çevre şartlarında girdiğinden, yanma havasının ekserjisi sıfıra eşittir. Bundan dolayı motora giren ekserji olarak yalnız yakıt ekserjisi yazılır. Motordan çıkan ekserji ise yanma sonucu çıkan ısıyla oluşan ekserji ve iş ve yanma ürünlerinin ekserjisidir. Bu ifade aşağıdaki gibi ifade yazılabilir.

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Motora} \\ \text{veya} \\ \text{sisteme} \\ \text{giren} \\ \text{ekserji} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Motordan} \\ \text{veya} \\ \text{sistemden} \\ \text{\u00e7ıkan} \\ \text{ekserji} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Motorda} \\ \text{veya} \\ \text{sistemde} \\ \text{yok edilen} \\ \text{ekserji} \\ \hline \end{array} \quad (4.38)$$



BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Bu tezde ekserji analizinin uygulandığı deneysel çalışmalar ve yakıtlar, Amerika Birleşik Devletlerinin Iowa eyaletinde Nevada şehrindeki Iowa enerji merkezinde hazırlanmıştır. Çanakçı (2001) tarafından yapılan bu deneylerde kullanılan deney motoru John Deere 4276T marka, dört silindirli, dört stroklu ve turbo şarjlı bir dizel motordur. Motordan elde edilen torku ve gücü ölçmek için kullanılan dinamometre ise 150 hp gücünde General Electric marka (Schenectady, NY) model TLC2544 doğru akımlı olan bir dinamometredir. Dizel motorunun yakıt pompası, distribütör tip yakıt pompasıdır. Yakıt enjektörleri ise dört tane 0,305 mm çapında ve açılma basıncı 207 bardır. Motorun temel bazı özellikleri Tablo 5.1’de görülmektedir.

Yakıt olarak daha önce belirtildiği gibi, %100’ ü İki nolu dizel yakıtı, %100’ ü soya bazlı metil ester olan bir biyodizel yakıtı (SYME), %100’ ü atık yağ bazlı metil ester biyodizel (YGME), %20’ si soya bazlı metil ester olan bir biyodizel yakıtı (SYME) ve %80’ lik kısmı İki nolu dizel yakıtı olan (%20 SYME), %20’ si atık yağ bazlı metil ester biyodizel (YGME) ve %80’lik kısmı İki nolu dizel yakıtı olan (%20 YGME) kısaltmaları ile gösterilecek olan yakıtlar kullanılmıştır. Bu yakıtlardan İki nolu dizel piyasada satılmakta olan yakıttır. Soya bazlı metil ester olan biyodizel yakıtı (SYME) ve atık yağ bazlı metil ester biyodizel (YGME) Amerika Birleşik Devletlerinin Iowa eyaletinde Nevada şehrindeki Iowa enerji merkezinde hazırlanmıştır. Bu yakıtların testi 1400 d/dk devirde ve 255,664 Nm olarak ayarlanarak yapılmıştır. Sistem bir süre çalıştırılarak kararlı hale gelmesi beklenmiş daha sonra test sonuçları alınmıştır. Burada yakıtların isimleri işlem kolaylığı açısından kısaltılmış hali ve kimyasal formülü aşağıdaki gibi kullanılacaktır.

DİZEL: İki nolu dizel yakıtı: $C_{14,09}H_{24,78}$

SYME: Soya yağı bazlı metil ester biyodizel: $C_{18,7}H_{34,43}O_2$

YGME: Atık yağ bazlı metil ester biyodizel: $C_{18,06}H_{34,72}O_2$

%20SYME:%20 Soya yağı bazlı metil ester biyodizel ve %80 İki nolu dizel yakıtı
karışımı : $C_{15,02}H_{25,52}O_{0,4}$

%20YGME: :%20 Atık yağ bazlı metil ester biyodizel ve %80 İki nolu dizel yakıtı
karışımı : $C_{14,88}H_{26,71}O_{0,4}$

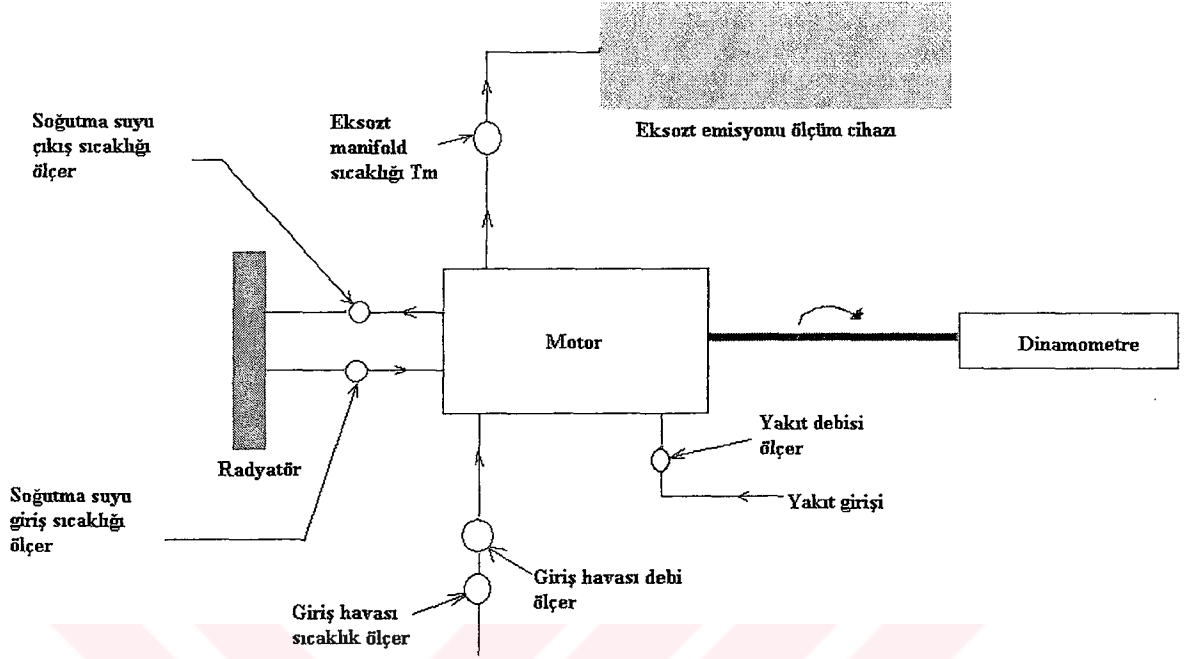
Tablo 5.1. John Deree 4276T dizel motorunun bazı özellikleri

Piston gömleğinin çapı (mm)	106,5
Strok boyu (mm)	127
Biyel kolu uzunluğu (mm)	202,9
Sıkıştırma Oranı)	16:8:1
Maksimum güç (kW) (2100 d/dk)	57,1
Maksimum tork (Nm) (1300 d/dk)	305,0

Ekzost emisyonu ölçüm cihazının içinde bulunan test ünitelerinin marka ve modelleri şunlardır.

- Rosemount Analytical, Inc. marka, 755R inraruj O₂ ekran
- Rosemount Analytical, Inc. marka, 880A inferad CO analiz gereci
- Rosemount Analytical, Inc. marka, 880A inferad CO₂ analiz gereci
- J.U.M. Engineering marka, VE7 model alev iyanizasyon detektörü HC analiz gereci
- Beckman Industrial Co. marka, 955 model NO/NO_x analiz gereci
- Robert Bosch GMBH marka, ETD02050 model duman metre

Deneyin şematik olarak görünümü şekil 5.1' de görülmektedir.



Şekil 5.1. Motor test ünitesinin şematik görünümü

Deney sonucu elde edilen bulgular, Tablo 5.2' de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 5.2. Deney sonucu elde edilen bulgular

Yakıtlar	DİZEL	SYME	YGME	%20 SYME	%20 YGME
Tork momenti (Nm)	255,664	255,664	255,664	255,664	255,664
Yakıtın Kütleli Debisi (g/s)	2,386	2,723	2,739	2,453	2,453
Yakıtın Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	42640	37388	37144	41598	41540
Krank Mili Gücü (kW)	37,482	37,482	37,482	37,482	37,482
Eksoz gazı sıcaklığı (K)	703	701	693,5	700	703,5
Yük (%)	100	100	100	100	100
Giriş havası basıncı (kg/s)	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627

Emisyon ölçümü sonuçları ise Tablo 5.3' de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 5.3. Emisyon ölçümü sonuçları

Yakıtlar	DİZEL	SYME	YGME	%20 SYME	%20 YGME
O ₂ (g/kWsa)	548,255	572,432	569,950	560,907	565,499
CO (g/kWsa)	0,548	0,449	0,530	0,440	0,530
CO ₂ (g/kWsa)	823,426	819,881	800,953	819,019	808,339
HC (g/kWsa)	0,476	0,270	0,497	0,278	0,498
NO (g/kWsa)	18,334	19,293	18,612	19,423	18,225
NO _x (g/kWsa)	18,984	21,248	19,144	21,140	19,010

Yakıtların ekserjisinin hesaplanmasında kullanılan yakıt içerisindeki moleküllerin kütesel olarak yüzde oranları Tablo 5.4' de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Yakıtların içerisindeki moleküllerin kütesel olarak yüzde oranları

Yakıtlar	DİZEL	SYME	YGME	%20 SYME	%20 YGME
Karbon (%)	86,7	77,10	76,46	84,28	84,8
Hidrojen (%)	12,71	11,81	12,25	12,69	12,1
Oksijen (%)	-	10,97	11,29	3,0173	3,0115
Sülfür (%)	0,041	0,005	0,005	0,0338	0,0338

BÖLÜM 6

MOTORDA ÇEŞİTLİ YAKITLARA ENERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI

Deneyde kullanılan motor 1400 devir/dakika devirde çalıştırılmış ve bu devire göre deney sonuçları test ünitesi üzerinden alınarak Tablo 6.1' de sunulmuştur (Çanakçı, 2001). Yakıtların enerji hesapları ayrı ayrı yapıp daha sonra sonuçlar Tablo halinde verilemektedir.

6.1. Enerji Hesapları

6.1.1 Krank Mili Gücü (Efektif Güç) N_e

$$N_e = \omega \cdot Tr \quad (6.1)$$

(6.1) Denklemindeki ω açısal hızı (rad/s) ve Tr (Nm) torku göstermektedir. ω açısal hız değerinin ne devir sayısına bağlı olarak ifadesi,

$$\omega = \frac{\pi \cdot ne}{30} \quad (6.2)$$

kullanılarak Denklem (6.1)' e taşınırsa,

$$N_e = \pi \cdot ne \cdot Tr / 30 \quad (6.3)$$

Tr (Nm) torku ω açısal hız değeri Tablo 6.1'den alınarak bu formülü deney motoru için uygularsak,

$$N_e = \frac{\pi \cdot 1400 \cdot 255,664}{30}$$

$N_e = 37,683$ kW bulunur.

Tablo 6.1' de görüldüğü gibi tüm yakıtlarda aynı tork ve devirde deney yapılmıştır. Bundan dolayı hepsinin efektif gücü eşit olur. Efektif güç aynı zamanda net işe de eşittir.

$$N_e = W_{CV} \quad (6.4)$$

6.1.2. İki nolu dizel yakıtının yakıt enerjisi Q_Y

$$Q_Y = M_Y \cdot H_U \quad (6.5)$$

Denklem (6.1)'de H_u , yakıtın alt ısıl değerini göstermektedir. $n=1400$ d/dk' ya karşılık gelen yakıtların debisi $M_Y = 2,386 \cdot 10^{-3}$ kg/s ve yakıtların alt ısıl değeri $H_u=42640$ kJ/kg Tablo 5.2'den alınarak, yakıtların yakıt enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_Y = 2,386 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} \cdot 42640 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_Y = 101,685 \text{ kW}$$

6.1.3 İki nolu dizel yakıtının ısıl veriminin bulunması

İçten yanmalı bir dizel motorun ısıl verimi, alınan işin verilen işe oranıdır. Burada alınan iş yakıt enerjisi, verilen iş ise net iş yani N_e efektif güce eşittir.

$$\eta_Y = \frac{W_{CV}}{Q_Y} \quad (6.6)$$

$$\eta_Y = 37,482 \text{ kW} / 101,685 \text{ kW}$$

$\eta_Y = 0,3686$ yani % 36,86 ısıl verime sahiptir.

6.1.4 İki nolu dizel yakıtının yanması ile oluşan toplam ısı kaybının bulunması

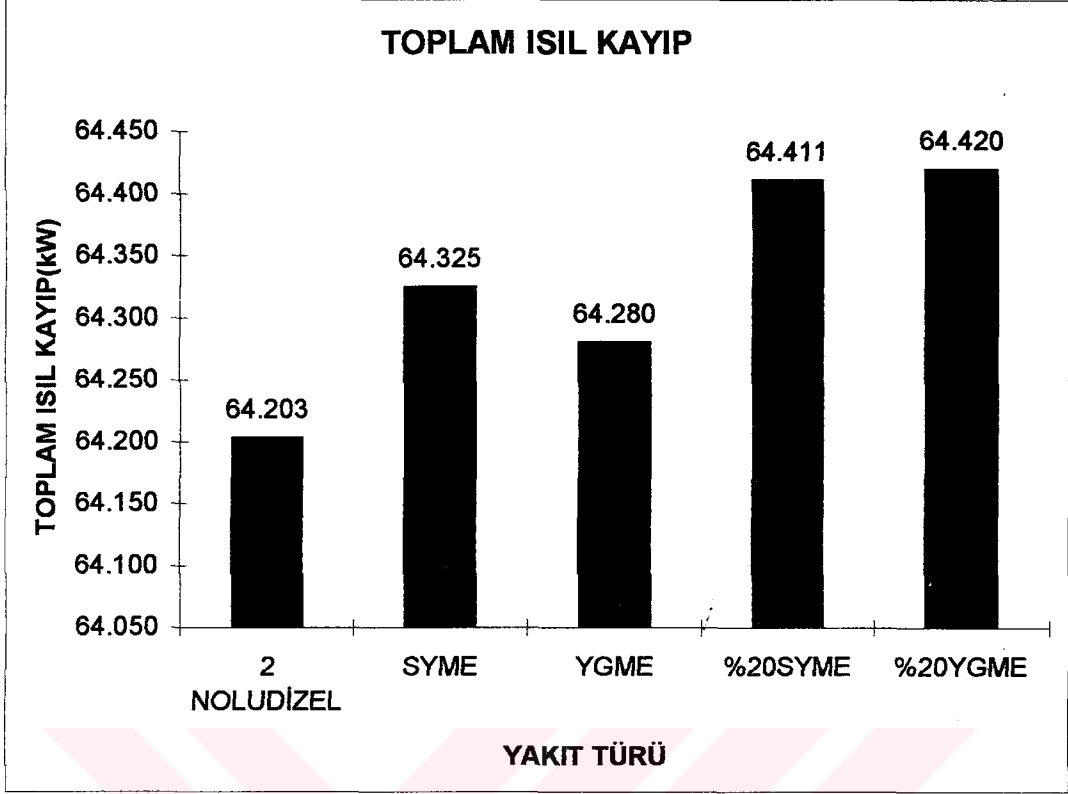
Motorda yakıtın yanması ile oluşan yakıt enerjisinin bir kısmı kayıplar nedeniyle kullanılamamaktadır. Bu tersinmezliklerin oluşturduğu kayıpların tamamı, Termodinamiğin Birinci Kanunu kullanılarak hesaplanır.

$$Q_{\text{kay}} = Q_y - W_{\text{CV}} \quad (6.7)$$

$$Q_{\text{kay}} = 101,685 - 37,482$$

$$Q_{\text{kay}} = 64,203 \text{ kW}$$

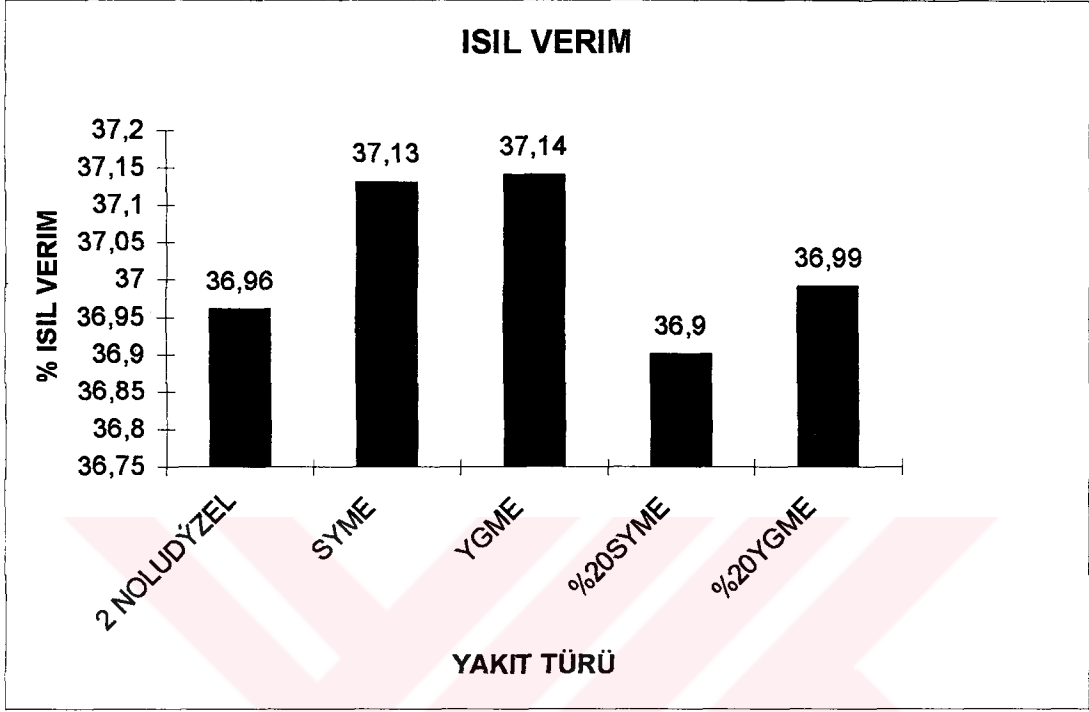
İki nolu dizel yakıtına uygulanan enerji analizi diğer yakıtlara da uygulanır. Enerji analizinin sonuçları, Tablo 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Toplam Isıl Kayıp

Tablo 6.1 : Enerji analizi sonuçları

Yakıtlar	DİZEL	SYME	YGME	%20 SYME	%20 YGME
Yakıt Enerjisi (kW)	101,807	101,762	101,762	101,899	101,904
Yakıtın Kütleli Debisi (g/s)	2,386	2,723	2,739	2,453	2,453
Yakıtın Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	42640	37388	37144	41598	41540
Krank Mili Gücü (kW)	37,482	37,482	37,482	37,482	37,482
Isıl Verim (%)	36,960	37,130	37,14	36,9	36,99
Toplam Isıl Kayıp (kW)	64,203	64,325	64,280	64,411	64,420



Şekil 6.2 : Yakıtların Isıl verimi

Yakıtların ısı verimlerinin %37 civarında olduğu gözlenmiştir. En düşük ve en yüksek verimler sırasıyla %20 SYME ve YGME yakıtında olduğu gözlenmiştir. Isıl verime yakıt enerjisinin etkili olduğu görülmüştür. Dizel yakıtına kıyasla %100 biyodizel karışımı SYME ve YGME yakıtlarının az da olsa ısı verimlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

BÖLÜM 7

MOTORA EKSERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI

Enerji analizinden sonra çeşitli biyodizel yakıtlarının kullanılması durumu için deney motoruna motora ekserji analizi de uygulanmıştır. Zira şimdiye kadar bu alanda yapılmış olan çalışmalar, bir motor için kayıpların ve motor verimliliğinin tespitinde sadece enerji analizinin yeterli olmadığını, enerji analizi ile birlikte ekserji analizinin de yapılmasıyla o motor için tam termodinamik analiz sonucunun ortaya çıkacağını ifade etmektedir.

7.1 Ekserji Hesapları

7.1.1 Yakıt ekserjisi (kimyasal ekserjisi) E_F

Ekserji analizine, motorda kullanılan yakıtın kimyasal ekserjisinin bulunmasıyla başlanmıştır. Yakıt ekserjisini bulunması için (Kotas, 1985)'de kullanılan yöntem kullanılmıştır. Tablo 7.1'de gösterilen atomik kütle oranlar, Denklem (7.1) ve (7.2)'de yerlerine konularak yakıt ekserjisi bulunmuştur.

$$\varphi = 1,0401 + 0,1728 \cdot \frac{h}{c} + 0,0432 \cdot \frac{o}{c} + 0,2169 \cdot \frac{\alpha}{c} \left(1 - 2,0628 \cdot \frac{h}{c} \right) \quad (7.1)$$

$$e_{kim} = H_u \cdot \varphi \quad (7.2)$$

Tablo 7.1. Yakıtların h/c, o/c, a/c oranları

Yakıtlar	DİZEL	SYME	YGME	%20 SYME	%20 YGME
$\frac{h}{c}$	0,14657	0,15317	0,1602	0,150569	0,142688
$\frac{o}{c}$	-	0,14228	0,14765	0,0379	0,03571
$\frac{\alpha}{c}$	0,00047	0,000064	0,00065	0,00401	0,00039

Örnek olarak iki nolu dizel yakıtı için bu hesaplama yapılmıştır. Diğer yakıtlar içinde aynı hesaplar yapılmış olup sonuçları Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

$$\varphi = 1,0401 + 0,1728 \cdot 0,14657 + 0,0432 \cdot 0 + 0,2169 \cdot 0,0047 \cdot (1 - 2,0628 \cdot 0,14657)$$

$$\varphi = 1,06556$$

$$e_{kim} = 42640 \cdot 1,06556$$

$$e_{kim} = 45435,47 \text{ kJ}$$

e_{kim} İfadesi yakıtın kütleli debisi ile çarpılırsa yakıtın kimyasal ekserjisi elde edilir.

$$E_F = e_{kim} \cdot M_y \quad (7.3)$$

$$E_F = 45435,47 \cdot 2,386 \cdot 10^{-3}$$

$$E_F = 108,407 \text{ kW}$$

7.1.2 Efektif güç ekserjisi (krank mili gücü) ekserjisi E_w

Denklem (6.1)’teki güç ekserjisi aynı zamanda faydalı işe eşit olduğundan daha önce bulunmuş krank mili gücü (efektif güç), efektif güç ekserjisi olarak alınmıştır. Efektif

güç aynı zamanda motordan elde edilen net işe de eşittir. Tüm yakıtlarda aynı devirde, aynı test motorunda deney yapıldığı için bu değerler tüm yakıtlar için aynıdır.

$$E_w=N_e=W_{cv}=37,483 \text{ kW olarak alınır.}$$

7.1.3. Eksozt ekserjisi E_{ek}

7.1.3.1 Yanma denkleminin elde edilmesi

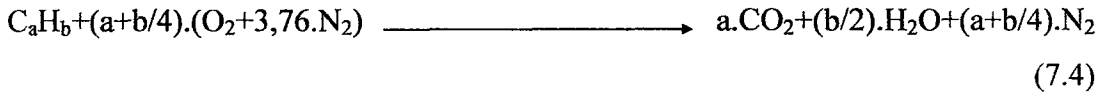
Eksozt ekserjisi hesaplanırken kullanılacak bazı değerler İki Nolu dizel yakıtı için toplu olarak aşağıda verilmiştir.

$$\text{Yakıtın kütleli debisi } M_y=2,386 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

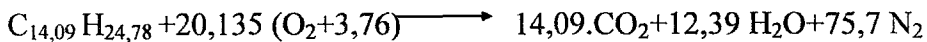
$$\text{Eksozt manifold sıcaklığı } T_m= 703 \text{ K}$$

$$\text{Kütleli hava debisi } M_h=0,0639 \text{ kg/s}$$

Herhangi bir C_aH_b hidrokarbonu için teorik yanma denklemi Denklem (7.4)'de gösterildiği gibidir.



Bu formülü İki nolu dizel yakıtı için uygularsak İki nolu dizel yakıtının teorik yanma denklemi şöyle olur.



Gerçek yanma denklemini elde etmek için, eksozt gazı emisyon testi sonuçlarındaki veriler kullanılmalıdır. Bu veriler, Tablo 5.3'de görülmektedir. Gerçek yanma

denkleminin hesabında yanmamış hidrokarbonlar HC, NO ve NO_x gazlarının emisyonları çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir.

O₂ için;

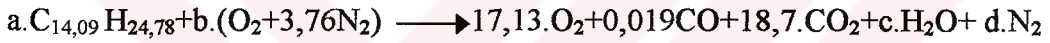
$$\frac{548,255}{32} = 17,13 \text{ mol/kwsa}$$

CO için ise:

$$\frac{0,548}{28,01} = 0,0195 \text{ mol/kwsa}$$

CO₂ için;

$$\frac{823,426}{44,01} = 18,70 \text{ mol/kwsa;}$$



C için :

$$a.14,09 = 0,019. + 18,7$$

$$a = 1,33$$

H için:

$$1,33.24,78 = 2.c$$

$$c = 16,47$$

O için:

$$2.b = 17,13.2 + 18,7.2 + 16,47$$

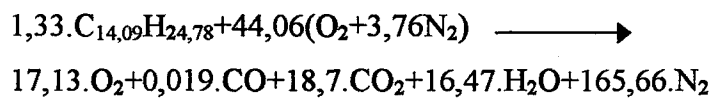
$$b = 44,06$$

N için

$$2.3,76.44,06 = 2.d$$

$$d = 165,66$$

Yakıtın gerçek yanma denklemi aşağıda görüldüğü gibidir.



7.1.3.2 Yanma ürünlerinin gerçek kütlelerinin bulunması

Yanma ürünlerinin mol kütleleri $m_{CO_2}=44$ kg/kmol, $m_{O_2}=32$ kg/kmol, $m_{H_2O}=18$ kg/kmol, $m_{N_2}=28$ kg/kmol ve $m_{CO}=28$ kg/kmol olduğundan, yanma ürünlerinin toplam kütlesi aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$M_{TOP}=165,66.m_{N_2}+18,7.m_{CO_2}+16,47.m_{H_2O}+0,019.m_{CO}+17,13.M_{O_2}$$

$$M_{TOP}=165,66.28+18,7.44+16,47.18+0,019.28+17,13.18$$

$$M_{TOP}=4638,48+822,8+296,46+0,532+308,34$$

$$M_{TOP}=6067 \text{ kg}$$

Yanma ürünlerinin toplam kütle içersindeki mol kesirleri ise,

$$y_i = \frac{M_i}{M_{TOP}} \quad \text{bağıntısı kullanılarak;}$$

$$y_{N_2}=0,7645$$

$$y_{O_2}=0,050$$

$$y_{CO_2}=0,1356$$

$$y_{H_2O}=0,0488$$

$$y_{CO}=0,00008$$

olarak bulunur. Yanma ürünlerinin gerçek kütlelerini bulmak için bu mol kesirleri kullanılır. Eksozttan çıkan gazın %2 kayıpla çıktığı kabul edilirse gerçek eksozt kütlesi hava ve yakıtın kütleli debilerinin toplamının kayıptan çıkarılması ile bulunur.

$$M_{ek}=(M_y+M_h).0,98 \text{ değerler yerine konursa,}$$

$$M_{ek}=(2.383.10^{-3}+63,9.10^{-3}).0,98$$

$$M_{ek}=0,6495 \text{ kg/s}$$

$M_i=y_i M_{TOP}$ Denkleminden yanma ürünlerinin gerçek kütleleri;

$$M_{N_2}=0,7645 \cdot 0,06495=0,04965=49,65 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$M_{O_2}=0,05 \cdot 0,06495=0,003247=3,47 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$M_{CO_2}=0,1356 \cdot 0,06495=0,008807=8,807 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$M_{H_2O}=0,0488 \cdot 0,06495=0,00316=3,16 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$M_{CO}=0,00008 \cdot 0,06495=0,000005=0,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

7.1.3.3 Yanma ürünlerinin toplam ekserjileri

Yanma ürünleri olan azot (N_2), oksijen (O_2), karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO_2) ve suyun (H_2O) toplam ekserjileri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Burada kullanılan termodinamik özellik değerleri (Moran ve Shapiro, 2000)' dan alınmıştır.

Azot (N_2)'un termomekanik, kimyasal ve toplam ekserjisi:

Azot (N_2)'un mol kütlesi $m_{N_2}=28 \text{ kg/kmol}$, Eksozt manifold sıcaklığı: $T_{ek}=703 \text{ K}$ 'e göre

$$\bar{h} = \text{entalpi kJ/kmol}$$

$$\bar{s}^0 = \text{entropi kJ/kmol. K}$$

$$\bar{h} = 20611 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}^0 = 216,855 \text{ kJ/kmol. K}$$

$$T_0=298 \text{ K}$$

$$\bar{h}_0=8669 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_0=191,502 \text{ kJ/kmol .K}$$

Termomekanik ekserji Denklem (4.18)'de gösterildiği gibi

$$e_{fiz} = e_{tm} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0 \cdot (\bar{s}^0 - \bar{s}_0^0), \text{dir. Azot için uygulanırsa,}$$

$$e_{tmN_2}=(20611-8669)-298 \cdot (216,855-191,502)$$

$$e_{tmN_2}=11942-7555,1$$

$$e_{tmN_2}=4386,9 \text{ kJ/kmol}$$

Kimyasal ekserji ise, Denklem (4.35)'den yararlanarak,

$$e_{N_2}^{KM} = \bar{R} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{1}{y_{H_2O}^c}$$

$$e_{N_2}^{KII} = 8,314.298. \ln \frac{1}{0,7567}$$

$$e_{N_2}^{KII} = 691 \text{ kJ/kmol } N_2$$

Azotun toplam ekserjisi ise;

$$e_{\text{top}N_2} = e_{N_2}^{KII} + e_{\text{tm}} = 4386,9 + 691 = 5077,9 \text{ kJ/kmol } N_2 \text{ veya}$$

$$e_{\text{top}N_2} = 181,35 \text{ kJ/kg } N_2$$

Oksijenin (O₂)'un termo mekanik, kimyasal ve toplam ekserjisi:

Oksijen (O₂)'nin mol kütlesi $m_{O_2} = 18 \text{ kg/kmol}$, Eksozt manifold sıcaklığı: $T_{\text{ek}} = 703$

K'e göre

$$\bar{h} = 21288 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}^0 = 231,463 \text{ kJ/kmol}$$

$$T_0 = 298 \text{ K}$$

$$\bar{h}_0 = 8682 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_0^0 = 205,033 \text{ kJ/kmol}$$

Termomekanik ekserji Denklem (4.18)'de gösterildiği gibi

$$e_{\text{fiz}} = e_{\text{tm}} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0 (\bar{s}^0 - \bar{s}_0^0), \text{ dir. Oksijen için de uygulanırsa,}$$

$$e_{\text{tm}O_2} = (21288 - 8682) - 298. (231,463 - 205,033)$$

$$e_{\text{tm}O_2} = 12606 - 7880,1$$

$$e_{\text{tm}O_2} = 4725,89 \text{ kJ/kmol}$$

Kimyasal ekserji ise, Denklem (4.35)'den yararlanarak,

$$e_{O_2}^{KM} = \bar{R}.T_0. \ln \frac{1}{y_{O_2}^c}$$

$$e_{O_2}^{KII} = 8,314.298 \ln \frac{1}{0,2035}$$

$$e_{O_2}^{KII} = 3859 \text{ kJ/kmol } O_2$$

Oksijenin toplam ekserjisi ise;

$$e_{\text{top}O_2} = e_{O_2}^{KII} + e_{\text{tm}O_2} = 4725,9 + 3859 = 8585,9 \text{ kJ/kmol } O_2 \text{ veya}$$

$$e_{\text{topO}_2}=268,28 \text{ kJ/kg O}_2$$

Karbondioksitin (CO₂)'in termomekanik, kimyasal ve toplam ekserjisi:

Karbondioksitin (CO₂)'in mol kütlesi $m_{\text{CO}_2}=44 \text{ kg/kmol}$, Eksozt manifold sıcaklığı:

Tek=703 K'e göre

$$\bar{h} = 27288 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}^0 = 250,827 \text{ kJ/kmol}$$

$$T_0=298 \text{ K}$$

$$\bar{h}_0=9364 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_0^0=213,685 \text{ kJ/kmol}$$

Termomekanik ekserji Denklem (4.18)'de gösterildiği gibi

$$e_{\text{fiz}} = e_{\text{tm}} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0 \cdot (\bar{s}^0 - \bar{s}_0^0), \text{ dir. Oksijen için de uygulanırsa,}$$

$$e_{\text{tmCO}_2}=(27288-9364)-298 \cdot (250,827-213,685)$$

$$e_{\text{tmCO}_2}=17924-11073,887$$

$$e_{\text{tmCO}_2}=6850,113 \text{ kJ/kmol}$$

Kimyasal ekserji ise Denklem (4.35)'den yararlanarak,

$$e_{\text{CO}_2}^{\text{KM}} = \bar{R} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{1}{y_{\text{CO}_2}^c}$$

$$e_{\text{CO}_2}^{\text{KIM}} = 8,314 \cdot 298 \cdot \ln \frac{1}{0,000345}$$

$$e_{\text{CO}_2}^{\text{KIM}} = 19752 \text{ kJ/kmol CO}_2$$

Oksijenin toplam ekserjisi ise;

$$e_{\text{topCO}_2} = e_{\text{CO}_2}^{\text{KIM}} + e_{\text{tmCO}_2} = 6850,113 + 19752 = 26602,113 \text{ kJ / kmol CO}_2 \text{ veya}$$

$$e_{\text{topCO}_2} = 604,59 \text{ kJ / kg CO}_2$$

Su buharının (H₂O)'in termomekanik, kimyasal ve toplam ekserjisi:

Su buharının (H₂O)'in mol kütlesi $m_{\text{H}_2\text{O}}=18 \text{ kg/kmol}$, Eksozt manifold sıcaklığı:

Tek=703 K'e göre

$$\bar{h} = 24192 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}^0 = 218,715 \text{ kJ/kmol}$$

$$T_0 = 298 \text{ K}$$

$$\bar{h}_0 = 9904 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_0^0 = 188,720 \text{ kJ/kmol}$$

Termomekanik ekserji Denklem (4.18)'de gösterildiği gibi

$$e_{fiz} = e_{tm} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0 \cdot (\bar{s}^0 - \bar{s}_0^0), \text{ dir. Su buharının için de uygulanırsa,}$$

$$e_{tmH_2O} = (24192 - 9904) - 298 \cdot (218,715 - 188,720)$$

$$e_{tmH_2O} = 14288 - 8943$$

$$e_{tmH_2O} = 5344,99 \text{ kJ/kmol}$$

Kimyasal ekserji ise, Denklem (4.35)'den yararlanarak,

$$e_{H_2O}^{KM} = \bar{R} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{1}{y_{H_2O}^C}$$

$$e_{H_2O}^{KII} = 8,314 \cdot 298 \cdot \ln \frac{1}{0,0303}$$

$$e_{H_2O}^{KIM} = 8475,53 \text{ kJ/kmol CO}_2$$

Su buharının toplam ekserjisi ise;

$$e_{topH_2O} = e_{H_2O}^{KII} + e_{tmH_2O} = 5344,99 + 8475,53 = 13820,52 \text{ kJ/kmol H}_2\text{O veya}$$

$$e_{topH_2O} = 767,80 \text{ kJ/kg H}_2\text{O}$$

Karbon monoksit (CO)'in termomekanik, kimyasal ve toplam ekserjisi:

Karbon monoksit (CO)'in mol kütlesi $m_{CO} = 28 \text{ kg/kmol}$, Eksozt manifold sıcaklığı:

Tek = 703 K'e göre

$$\bar{h} = 20795 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}^0 = 223,053 \text{ kJ/kmol}$$

$$T_0 = 298 \text{ K}$$

$$\bar{h}_0 = 8669 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{s}_0^0 = 197,543 \text{ kJ/kmol}$$

Termomekanik ekserji Denklem (4.18)'de gösterildiği gibi

$e_{fiz} = e_{tm} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0 \cdot (\bar{s}^0 - \bar{s}^0_0)$, dir. Su buharının için de uygulanırsa,

$$e_{tmCO} = (20795 - 8669) - 298 \cdot (223,053 - 197,543)$$

$$e_{tmCO} = 12126 - 7601,98$$

$$e_{tmCO} = 4524,02 \text{ kJ/kmol}$$

Kimyasal ekserji ise, Denklem (4.35)'den yararlanarak,

$$e_{CO}^{KM} = \bar{R} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{1}{y_{CO}^c}$$

$$e_{CO}^{KI} = 8,314 \cdot 298 \cdot \ln \frac{1}{0,000007}$$

$$e_{CO}^{KI} = 29407,78 \text{ kJ/kmol CO}_2$$

Karbon monoksitin toplam ekserjisi ise;

$$e_{topCO} = e_{CO}^{KI} + e_{tmCO} = 29407,78 + 4528 = 33935,809 \text{ kJ/kmol CO veya}$$

$$e_{topCO} = 1211,99 \text{ kJ/kg CO}$$

Her bir yanma ürününün toplam ekserjileri gerçek kütleleri ile çarpılırsa toplam eksozt ekserjisi E_{ek} elde edilir.

$$E_{ek} = \sum M_i \cdot e_{topi}$$

$$E_{ek} = M_{N_2} \cdot e_{topN_2} + M_{O_2} \cdot e_{topO_2} + M_{CO_2} \cdot e_{topCO_2} + M_{H_2O} \cdot e_{topH_2O} + M_{CO} \cdot e_{topCO}$$

$$E_{ek} = (49,65 \cdot 181,35 + 3,47 \cdot 268,28 + 8,807 \cdot 604,59 + 3,16 \cdot 767,8 + 0,005 \cdot 1211,99) \cdot 10^{-3}$$

$$E_{ek} = (9004,02 + 930,93 + 5324,6 + 2426,24 + 0,605) \cdot 10^{-3}$$

$$E_{ek} = (17686) \cdot 10^{-3} = 17,68 \text{ kW}$$

7.1.4. Isı transferine eşlik eden ekserji transferi

Motordaki toplam ekserji yıkımını bulmak için, motordaki prosesi sürekli akışlı bir açık sistem kabul edilerek ekserji dengesi yazılabilir. Isı transferine eşlik eden ekserji

transferi motorun dış yüzeyinden radyasyonla, motor soğutma suyu vasıtasıyla ve diğer ısı transferleri sırasındaki ekserji geçişlerinden oluşur. Ayrıca yanma işleminden dolayı motor içinde ekserji yıkımı da olmaktadır. İki nolu dizel yakıtı kullanıldığı motora ekserji dengesi şöyle yazılabilir,

$$W_{CV}+E_D+E_{qj}+E_C=E_G \quad (7.5)$$

Burada,

E_D =Yanma sonucu yıkılan ekserji (kW)

E_{qj} = Isı transferine eşlik eden ekserji transferi (kW)

E_C =Eksozt ekserjisi (kW)

E_G =Yakıtın kimyasal ekserjisi (kW)

W_{CV} = Net iş (kW)'dir.

Isı transferi ile çıkan ısı ise,

$$Q=M_Y.H_U-(W_{CV}+M_{EK}.\Delta h_{EH}) \quad (7.6)$$

$$M_{EK}.\Delta h_{EH}=M_{N_2}.\Delta h_{N_2}+M_{O_2}.\Delta h_{O_2}+M_{CO_2}.\Delta h_{CO_2}+M_{H_2O}.\Delta h_{H_2O}+M_{CO}.\Delta h_{CO} \quad (7.7)$$

$$\Delta h=(h-h_0) \quad (7.8)$$

Δh_{EH} eksozt ekserjisinin hesabı yapılırken bulunmuştu. Buna göre,

$$M_{EK}.\Delta h_{EH}=(49,65.426,5+3,47.393+8,8.407,3+3,16.793+0,005.433,07).10^{-3}$$

$$M_{EK}.\Delta h_{EH}=28,63 \text{ kW}$$

$$Q=M_Y.H_U-(W_{CV}+M_{EK}.\Delta h_{EH}) \quad (7.9)$$

$$Q=101,67-(37,483+28,63)$$

$$Q=35,67 \text{ kW}$$

Isı transferine eşlik eden ekserji transferi ise,

$$E_{qj}=Q.(1-T_0/T_c) \quad (7.10)$$

formülü ile hesap edilir. Burada T_0 çevre sıcaklığını T_c ise soğutma suyu sıcaklığını ifade eder. Tüm yakıtlar için soğutma suyu sıcaklığı 429 K olarak ölçülmüştür.

$$E_{qj}=35,67 \cdot (1-298/429)$$

$E_{qj}=10,89$ kW elde edilir. Ekserji dengesi bu sonuçlara uygulanırsa,

$$W_{cv}+E_D+E_{qj}+E_{\dot{C}}=E_G$$

$$37,483+E_D+10,89+17,89=108,407$$

$E_D=42,34$ kW olur.

7.1.5 Motorda üretilen toplam entropi

Motorda üretilen toplam entropi Denklem (7.11)'de verilen formüle göre bulunur.

$$E_D=T_0 \cdot \sigma_{cv} \quad (7.11)$$

$$\sigma_{cv} = \frac{E_D}{T_0} \text{ olur.} \quad (7.12)$$

İki nolu dizel yakıtı içinde uygulanırsa:

$$\sigma_{cv} = \frac{42,34}{298}$$

$\sigma_{cv} = 0,1420$ kW olarak bulunur.

7.1.6 Motordaki ekserjik verim

Motordaki ekserjik verim değeri bulunması için Denklem (7.13) kullanılır. Burada sisteme giren ekserji E_F , yakıt ekserjisine eşittir. W_{cv} kontrol hacmindeki net iş ise, motordan alınan efektif güç ekserjisine eşittir. İki nolu dizel yakıtının kullanılması durumunda:

$$\varepsilon = \frac{W_{cv}}{E_F} \quad (7.13)$$

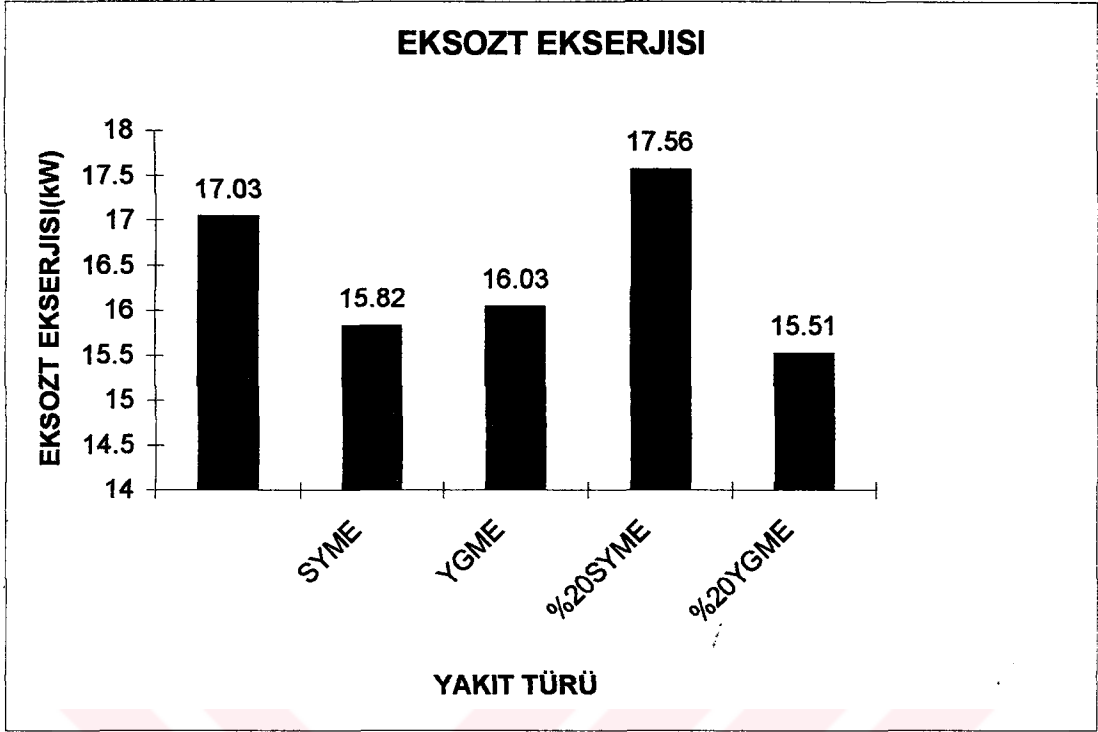
$$\varepsilon = \frac{E_w}{E_F} = \frac{37,483}{108,407}$$

$\varepsilon = 0,3457$ Yani % 34,57 ekserjik verime sahiptir.

İki nolu dizel yakıtı için yapılan bu ekserji hesapları deney motorunda kullanılan diğer yakıtlara da uygulanırsa Tablo 7.2'deki sonuçlar elde edilir. Bu sonuçlar, Şekil 7.1, 7.2, 7.3, 7.4' lerde grafik olarak sunulmuştur.

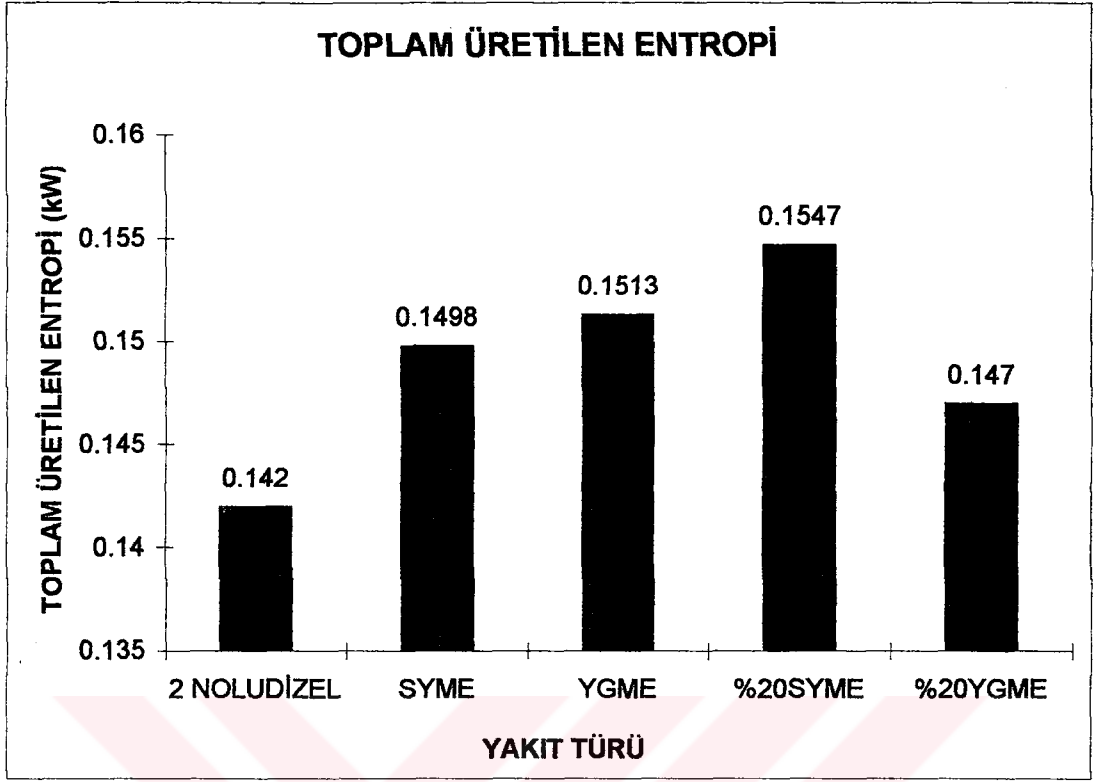
Tablo 7.2. Farklı yakıtların ekserji analizi karşılaştırılması

Yakıtlar	DİZEL	SYME	YGME	%20SYME	%20YGME
Yakıtın kimyasal ekserjisi (kJ/kg)	45435,47	40106	39901,0	44417,92	44296,13
Yakıt debisiyle orantılı yakıt ekserjisi(kW)	108,407	109,21	109,291	108,954	108,658
Eksozt Ekserjisi (kW)	17,03	15,818	16,032	17,557	15,514
Krank mili gücü efektif ekserji(kW)	37,483	37,483	37,483	37,483	37,483
Ekserji yıkımı (kW)	42,34	44,67	45,10	46,12	43,99
Ekserjik verim (%)	34,57	34,32	34,29	34,40	34,49
Eksozt manifold sıcaklığı(K)	703	701	693,5	700	703,5
Üretilen toplam entropi(kW)	0,1420	0,1498	0,1513	0,1547	0,1476
Isı transferine eşlik eden ekserji (kW)	10,89	11,50	10,67	10,33	11,67



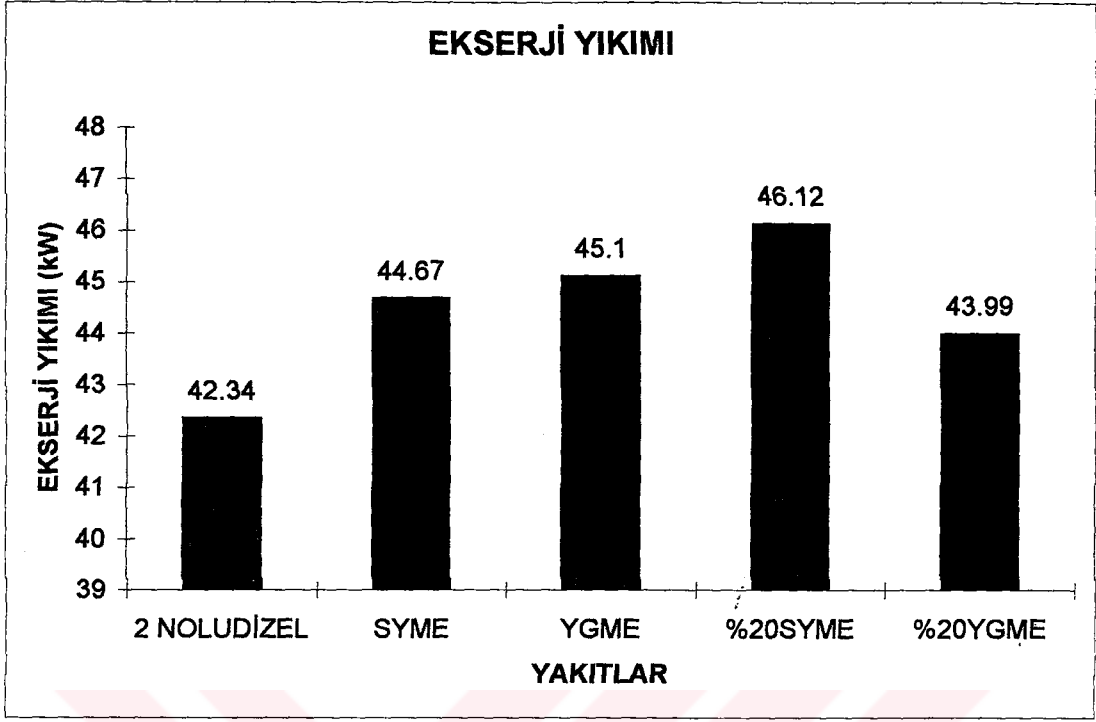
Şekil 7.1. Eksozt ekserjisi

Şekil 7.1’ deki eksozt ekserjisi grafiği incelendiğinde, eksozt ekserjisinin 15-17 kW civarında olduğu gözlenmiştir. %100 biyodizel karışımı olan SYME ve YGME yakıtları ile %20 YGME yakıtlarında eksozt ekserjisi en düşük seviyededir. Eksozt ekserjisi kayıp ekserji olduğu için eksozt ekserjisi açısından %20 YGME diğerlerinden daha iyi sonuç verir.



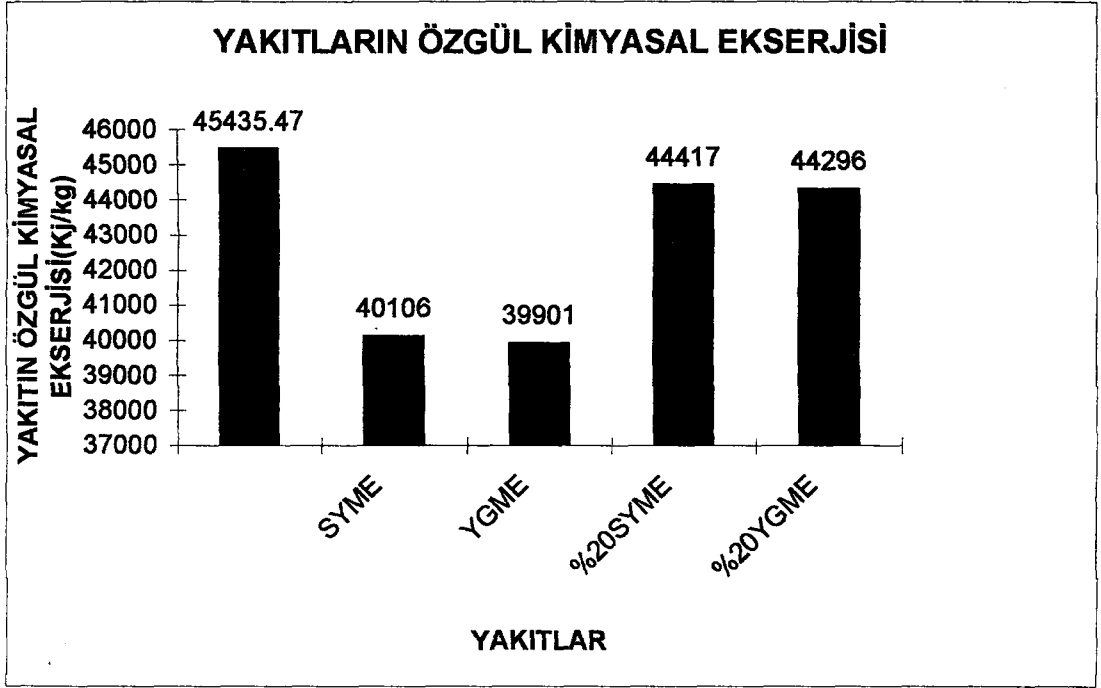
Şekil 7.2 Toplam üretilen entropi

Şekil 7.2’ de görülmekte olan toplam üretilen entropi grafiğinde, 5 farklı yakıt için motorda üretilen toplam entropiler, 0,14-0,15 kW/A civarında olduğu gözlenmiştir. En yüksek değerlerin ise YGME ve %20 SYME yakıtlarında olduğu görülmektedir. Entropinin artışı performans açısından istenmeyen bir parametre olduğundan bu grafikte de görüldüğü gibi en uygun değerler iki nolu dizel yakıtı ve %20 YGME karışımlarında görülür.



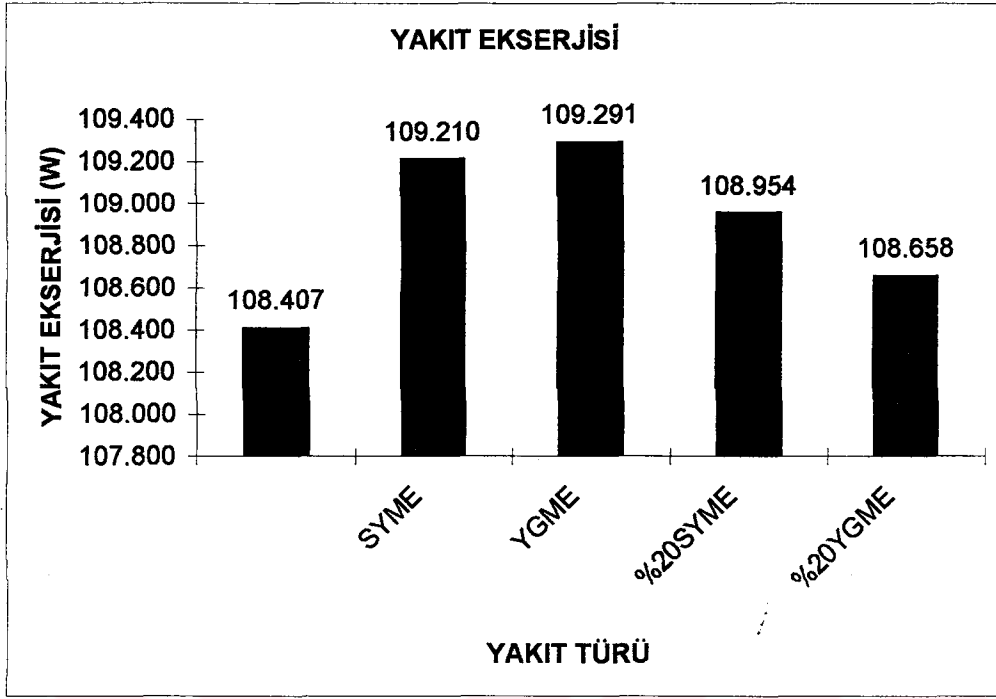
Şekil 7.3 . Toplam ekserji yıkımı

Şekil 7.3’de görüldüğü gibi yakıtların toplam ekserji yıkımı 42-46 kW civarında gözlenmiştir. En büyük ekserji yıkımı, %20SYME yakıtında görülmektedir. En az değerlere ise iki nolu dizel yakıtı olduğu gözlenmiştir. Buna yakın ekserjileri etkili olmuştur. Ekserji yıkımı açısından iki nolu dizel yakıtı uygun olduğu gözlenmiştir.



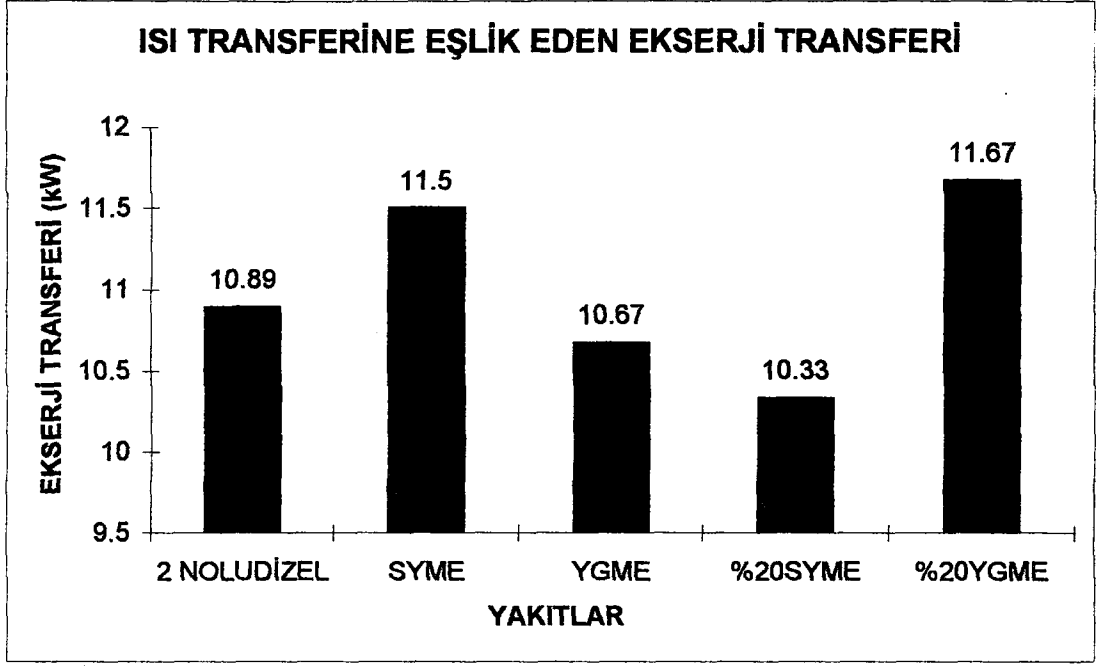
Şekil 7.4. Yakıt özgül kimyasal ekserjisi

Şekil 7.4’de görülmekte olan yakıtların özgül kimyasal ekserjisi grafiğinde SYME ve YGME yakıtları en düşük kimyasal ekserji değerine sahiptir. Bu sonuçlar yakıtların alt ısı değerleri ile paralellik göstermektedir. SYME ve YGME yakıtlarının alt ısı değerleri düşük olduğu için özgül kimyasal ekserji değerleri de düşük çıkmıştır.



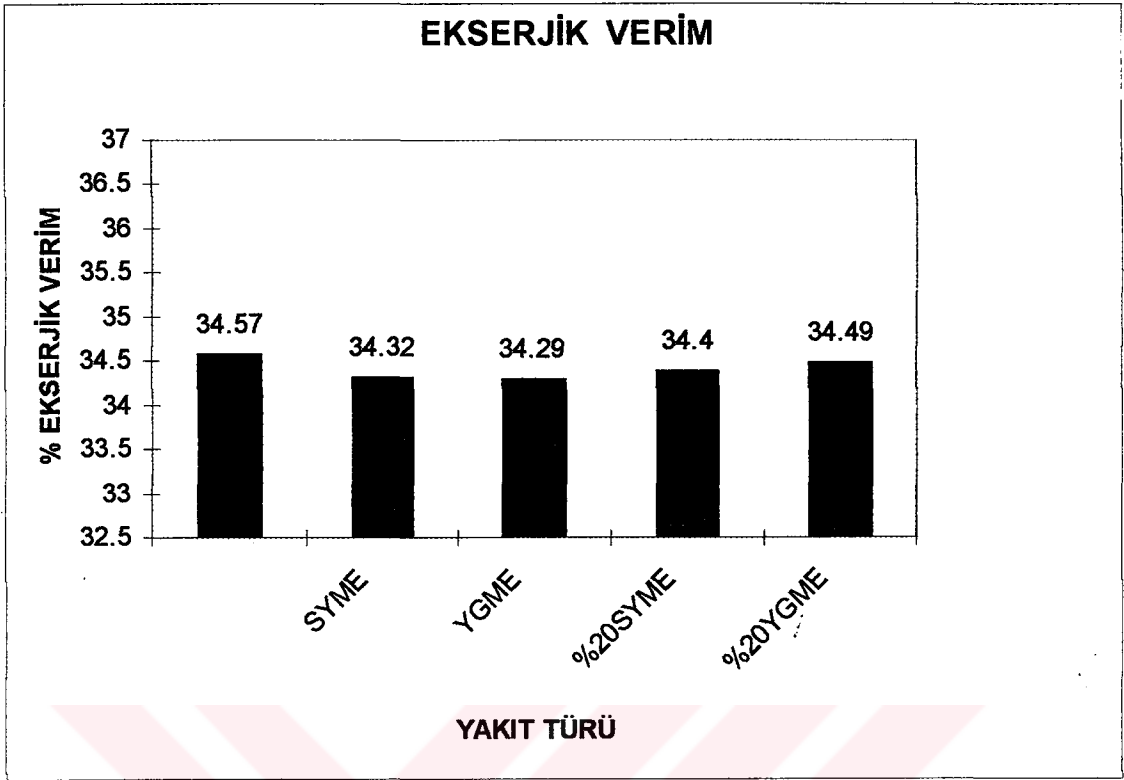
Şekil 7. 5. Yakıt ekserjisi

Şekil 7.5’de gösterilen grafikte, yakıtların özgül kimyasal ekserjilerin kütleli debiler ile çarpılması sonucu elde edilen kimyasal ekserjilerinin 108-109 kW civarında olduğu gözlenmektedir. Elde edilen bu değerler diğer hesaplanan sonuçlara doğrudan etki etmektedir. YGME yakıtının en yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Yakıt ekserjisi bakımından biyodizel yakıtları iki nolu dizel yakıtından daha fazla değerlere sahiptir. Bundan da anlaşılmaktadır ki dizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılan biyodizel yakıtı, motor parametreleri açısından daha iyi performans vermektedir.



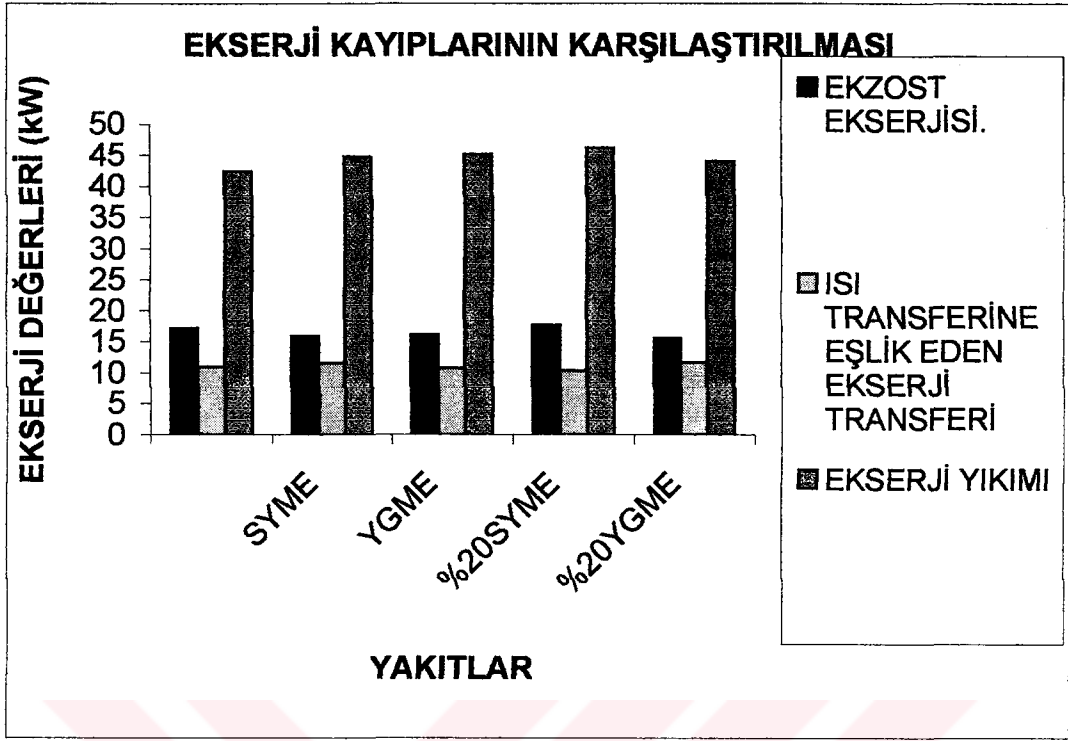
Şekil 7.6 . Isı transferine eşlik eden ekserji transferi

Şekil 7.6'de görülen grafikte motorda yanma esnasında entropi üretiminden dolayı oluşan ısı transferi ile beraber sistemden çıkan ekserji transferi görülmektedir. Oluşan ekserji transferi değerleri 10-12 kW arasındadır. En yüksek değere %20 YGME yakıtının en düşük değere ise %20 SYME yakıtı sahiptir.

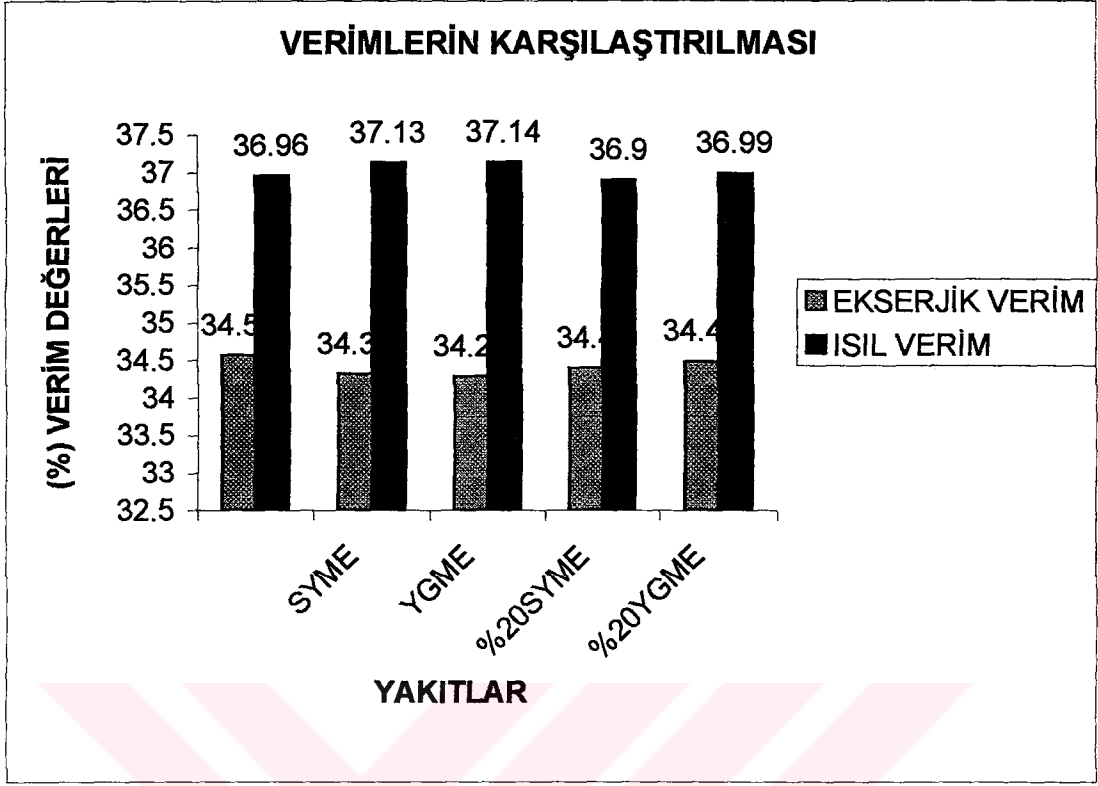


Şekil 7.7. Ekserjik verim

İki nolu dizel yakıtının en yüksek ekserjik verime sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca ekserjik verimin ısıl verimle paralel eğilim gösterdiği gözlenmiştir. Tüm yakıtlardan alınan iş birbirine eşit olduğu için, yakıtın kimyasal ekserji değerleri ekserjik verimin şekillenmesinde etkili olmuştur. Ekserjik verim tüm yakıtlarda %34 civarında oluşmuş ve en yüksek değer iki nolu dizel yakıtından elde edilmiştir. Bu da iki nolu dizel yakıtı ekserjik verim açısından diğer yakıtlardan daha iyi olduğu anlamındadır. Diğer verim grafiklerinde görüldüğü gibi YGME yakıtı verimsel açıdan daha düşük seviyededir. Bunda yakıtın kütleli debisinin yüksek oluşu dolayısıyla viskozitesinin düşük olması etkilidir. Viskozite düşük olduğundan aynı devir için diğer yakıtlara göre daha fazla yakıt gönderilir. Buna rağmen yakıtın alt ısıl değerinin de düşük olması nedeniyle ekserjik verim düşük çıkmaktadır.



Şekil 7.8. Ekserji kayıplarını karşılaştırılması



Şekil 7.9. Isıl ve ekserjik verimlerin karşılaştırılması

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Çanakçı (2001) tarafından yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak, John Deere 4276T marka, dört silindirli, dört stroklu ve turbo şarjlı bir dizel motoruna enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Enerji ve ekserji analizinin uygulandığı deneysel çalışmalar ve yakıtlar Amerika Birleşik Devletlerinin Iowa eyaletinde Nevada şehrindeki Iowa enerji merkezinde hazırlanmıştır. Yakıt olarak daha önce belirtildiği gibi, %100' ü İki nolu dizel yakıtı, %100' ü soya bazlı metil ester olan bir biyodizel yakıtı (SYME), %100' ü atık yağ bazlı metil ester biyodizel (YGME), %20' si soya bazlı metil ester olan bir biyodizel yakıtı (SYME) ve %80' lik kısmı İki nolu dizel yakıtı olan (%20 SYME), %20' si atık yağ bazlı metil ester biyodizel (YGME) ve %80'lik kısmı İki nolu dizel yakıtı olan (%20 YGME) yakıtları kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan motor 1400 devir/dakika devirde çalıştırılmış ve bu devire göre deney sonuçları test ünitesi üzerinden alınarak yapılan enerji analizi (Termodinamiğin Birinci Yasası) sonuçları Tablo 6.1'de ve ekserji analizi (Termodinamiğin İkinci Yasası) sonuçları ise Tablo 7.2'de sunulmuştur. Bu analizlerin uygulanması esnasında seçilen kontrol hacmi sürekli açık sistem olarak kabul edilmiştir. Enerji analizinde yakıtların enerjileri, toplam ısı kayıpları ve ısı verimleri bulunmuştur. Ekserji analizinde ise yakıtların kimyasal ekserji değerleri, yakıt debisi ile orantılı yakıt ekserjileri, ekserji yıkımları, ısı transferine eşlik eden ekserji transferleri, ekserjik verimleri, üretilen toplam entropileri, ve eksozt ekserjileri bulunmuştur. Eksozt ekserjileri hesaplanırken yakıtların gerçek yanma denklemleri, deneylerde ölçülen eksozt değerlerine göre elde edilmiş ve yanma ürünlerinin ayrı ayrı toplam ekserji değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ekserji değerleri Bölüm 7'de grafik olarak sunulmuştur.

Ayrıca, ekserji kayıplarının karşılaştırılması yapılmış ve ısı transferine eşlik eden ekserji transferinin en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. İkinci olarak ise, eksozt ekserjisinin ekserji kayıplarını arsında yüksek oranda olduğu görülmüştür. Buradan eksozt ekserjisinden yararlanma olanağının araştırılması gerektiği anlaşılmaktadır. Diğer yandan ısı transferine eşlik eden ekserji transferi, yani soğutma suyu ve radyasyon vasıtasıyla kaybolan ekserji transferinin de önemsenmeyecek kadar büyük olduğu tespit edilmiştir. Yine bu ekserji kayıplarının da kazanılması için araştırma yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Daha önceki çalışmalarda, alternatif yakıt çeşitlerinden biri olarak belirtilen biyodizel yakıtının SYME ve YGME olarak üretilen biyodizel çeşitlerinin iki nolu dizel yakıtı ile belirli oranlarda hazırlanan karışımlarının ekserjik açıdan da dizel motoruna uygun yakıt olduğu ortaya çıkmıştır. SYME ve YGME yakıtlarının %100 olarak kullanılması halinde ise yakıt ekserji değerlerinin yüksek olmasına rağmen ekserjik verim değerleri incelendiğinde dizel yakıtından ve diğer %20 YGME ve %20 SYME yakıtlarından düşük olduğu görülmüştür.

Ekserji analizinin diğer alternatif yakıt çeşitlerine ve değişik tipteki motorlara da uygulanarak ekserjik açıdan incelenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. AHRENDTS, J., 1980. Reference states, Energy Int. J. 5: 667-677
2. ALİBAŞ A. ve ULUSOY Y., 1995. Bitkisel Yağların Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanakları. T. Mek. 16. Ulusal Kongresi 5-7 Eylül 1995, Bursa S.147-157.
3. AL-NAJEM N. M. and DİAB J. M. 2003. Energy-exergy analysis of a diesel engine V.12 I.6, Pg. 525-529 ScienceDirect - Heat Recovery Systems and CHP
4. BEJAN, A., TSATSARONİS, G., and MORAN, M., 1996 Thermal Design and Optimization, John Wiley & Sons, New York
5. BİLGEN, S. 2000 Bazı yakıtların kimyasal ekserji değerlerinin hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı, Trabzon.
6. BÜYÜKTÜR, A.R., Termodinamik, 1982 Cilt 1 Uludağ Üniversitesi Yayını, Bursa
7. CATON, J.A., 2000 Operating characteristics of a spark-ignition engine using the second law of thermodynamics: effects of speed and load. In: SAE paper no. 2000-01-0952. Society of Automotive Engineers
8. CONNEMANN J. and FİSCHER J., 2000 "Biodiesel World 2000", International Congress and Expo. Lipids, Fats, and Oils, sayfa 4, Würzburg, Almanya
9. ÇANAKÇI, M. 2001, Production of Biodiesel Feedstocks With High Free Fatty Acids and Its Effect on Diesel Engine Performance And Emissions Iowa State Universty
10. ÇENGEL, Y.A. ve BOLES, M.A.,1996 Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Derbentli, T.Çeviren Literatür Yayıncılık İstanbul
11. DUNBAR WR and LİOR N. Sources of combustion irreversibility. Combust Sci Technol 1994;103:41-61.
12. ERDURANLI P., 1997, enerji santralına ekserji analizinin uygulanması Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak

13. GEORGES V., "Development of a Biodiesel Activity", International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils, sayfa 3, Würzburg, Almanya, 8-10 Ekim 2000
14. HÖCK R., 1994. Erprobung von Biodiesel und Ölen aus Rapsöl in der Praxis. Raps, 12.Jg. 4. 175-177.
15. KARAOSMANOĞLU, F., İŞİKGÜRTUNA, A., HAMDALLAHPUR, F.; GÜLDER, Ö.L.; AKSOY, H.A. In 1992 Renewable Energy: Technol. Environ., Proc. World Renewable Energy Congr.,2nd; Sayigh, A.A.M., Ed.; Pergamon, Oxford, , Vol.3; pp. 1455-1459
16. KARAOSMANOĞLU F .,İŞİĞİGÜRTUNA A.,, AKSOY H.A., 1989. Bitkisel Yağların Diesel Yakıt Alternatifi Olarak Kullanımı. Isı Bilimi ve Tekniği 7. Ulusal Kongresi. Ege Üniv. s.191-196. İzmir.
17. KARAOSMANOĞLU F.,2002 "Türkiye İçin Çevre Dostu - Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı : Biyomotorin" Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi, ICC1 2002 Özel Sayısı, İstanbul
18. KAUFMAN K.R., ZIEJEWSKI M., 1984, Sunflower methyl Esters for Direct Injected Diesel Engines. Transactions of the ASAE., pp. 1626-1633. USA
19. KNOTHE, K. F., TS ATSARONİS, G. 1983 Exergetic Analysis of Energy Conversion Processes, Coal Hydrogasification/In Efficiency and Costing, Gaggioli, R. A., ed., ACS Symp. ser. no. 235, American Chemical Society, Washington, D.C., pp. 135-146
20. KOTAS, T., J.,1995 The Exergy Method Of Thermal Plant Analysis, Krieger, Melbourne
21. KOPAÇ 1998, Bir enerji santralına enerji ve ekserji analizinin uygulanması. Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi, 35.sayı ,sf.:32-43
22. KRAHL, J.; VELLGUTH, G.; MUNACK, A.; STALDER, K.; BAHADİR, M. 1996 Motortechn. Public. Z., 57, 24-31.
23. MİTTELBACH, M. 1994. Liq. Fuels, Lubr. Addit. Biomass, Proc. Altern. Energy Conf.; Dale, B.E., Ed.; American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI,
24. MORAN, M.J., 1989 Availability Analysis — A Guide to Efficient Energy Use, ASME Press, New York,.
25. MORAN ,M.J., SHAPIRO, H.N., 2000 Fundamentals of Engineering Thermodynamics,Third Edition, John Wiley & Sons New York
26. NİTSKE, R.W., AND C.M. WİLSON 1965 Rudolph Diesel. Pioneer The Age of Power, University of Oklahoma Press.Norman. OK p.139

27. NYE, M.J.; WILLIAMSON, T.W.; DESHPANDE, S.; SCHRADER, J.H.; SNİVELY, W.H.; *Automot. Eng.*, [Spec. Publ.] SP 1992, SP-900, 37-63.
28. NYE, M. L., AND SOUTHWELL, P.H. 1983, *Esters From Rapeseed Oil As Diesel Fuel, Proceedings From Vegetable Oil As Diesel Fuel – Seminar III*. Pp. NAE Center Peoria
29. NAKONİECZNY K. 2000. *Optimisation of inlet and exhaust system of a turbocharged diesel engine based on exergy analysis*. PhD thesis, Technical University of Lublin, Poland;
30. PETERSON, C.L.; KORUS, R.A; MORAN, P.G.; MADSEN, J.P. *Trans. ASAE*, 1987, 30, 28-35.
31. RAKOPOULOS CD, GİAKOUMİS EG. 1997 *Speed and load effects on the availability balances and irreversibilities production in a multi-cylinder turbocharged diesel engine*. *Energy*;317:299–313.
32. RAKOPOULOS, C.D., KYRİTSİS D.C. 2001 *Comparative second-law analysis of internal combustion engine operation for methane, methanol, and dodecane fuels* *Energy* V.26 pp.705-722
33. SCHROTTMAİER J. 1993. *Biodiesel-Ein neues Produkt der Österreichischen Landwirtschaft*. *Raps*, 11.Jg. 3.
34. SCHOLL K. W. and ve SORENSON S. C., 1993, *combustion of soybean oil methyl ester in a Direct injection diesel engine* SAE Paper 87-1583.
35. ŞAHİN, Y. 1997 *İçten yanmalı motorlarda süapların devire bağlı değişik açılarda açılıp kapanmasının performansa etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak
36. SCHROTTMAİER J. 1993. *Biodiesel-Ein neues Produkt der Österreichischen Landwirtschaft*. *Raps*, 11.Jg. 3.
37. SCHARMER K, 1991. *Kraftstoffe aus Pflanzenöl für Dieselmotoren*. *Raps*,
38. SZARGUT, J., MORRİS, D.R., AND STEWARD, F.R., 1988 *Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes*, Hemisphere, New York,.
39. TAT, M.E., GERPEN, J.H. 1999 *The Kinematic Viscosity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel*. *Journal of American Oil Chemists Society*, Vol. 76, no. 12, 1511-1513
40. TSATSARONİS, G., 2000 *Thermoeconomic analysis and optimization of energy systems*, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 19, 227-257,

41. ULUSOY Y. 2000. Kullanılmış Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı. III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu. 15-17 Kasım 2000 ISBN 975-8547-00-3 İstanbul.
42. ULUSOY Y., ALIBAŞ. K. Diesel Motorlarda Biyodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi Uludağ Üniv. Zir. Fak. Derg., 2002 16: 37-50
43. WALL, G. 1998 Exergy, Ecology and Democracy - Concepts of a Vital Society/Presented at "ENSEC'93 International Conferens on Energy Systems and Ecology", 5-9 July, 1998
44. ZIEJEWSKI, M., KAUFMAN, K.R.; 1984 Am. Oil Chem. Soc., 61, 1620-1626



ÖZGEÇMİŞ

Eyüp UÇKUN 29.01.1980 yılında Afyon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Afyon'da tamamladı. Afyon Gazi Endüstri Meslek Lisesinden mezun oldu. 1997 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümüne girdi. 2001 yılında mezun olduktan sonra Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 1996 yılından bu yana SEKA A.Ş.'de çalışmaktadır. Halen KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

