

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KİMYA ANABİLİM DALI

SIVI YAKITLARIN KİMYASAL EKSERJİLERİNİN HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimyager Ayça TAC

**OCAK 2016
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KİMYA ANA BİLİM DALI

SIVI YAKITLARIN KİMYASAL EKSERJİLERİNİN HESAPLANMASI

Ayça TAC

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“YÜKSEK LİSANS (KİMYA)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22/12/2015
Tezin Savunma Tarihi : 20/01/2016**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selçuk BİLGİN

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Kimya Anabilim Dalında
Ayça TAC Tarafından Hazırlanan**

SIVI YAKITLARIN KİMYASAL EKSERJİLERİNİN HESAPLANMASI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 / 12 / 2015 gün ve 1633 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Selçuk BİLGİN

Üye : Doç. Dr. Sedat KELEŞ

Üye : Doç. Dr. Temel ÖZTÜRK



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmada sıvı ürünlerin kimyasal ekserji hesaplanması amaçlanmıştır. Elde edilen verileri kullanarak, bu veriler arasında korelasyon yapılarak yeni bir formül türettik. Bu formül yardımıyla karmaşık görünen birçok basamaklı eşitlikleri tek basamağa indirip basit bir yoldan gerçek sonuca en yakın değerleri bulmak hedeflenmiştir.

Çalışmalarım boyunca özverili yardımlarını, bilgi ve tecrübesini hiçbir zaman esirgemeyen, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. Selçuk BİLGİN' e,

Bu alandaki bilgi ve tecrübesiyle çalışmalarına katkılarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Sedat KELEŞ' e ve Arş. Gör. İkbâl SARIKAYA' ya,

Ayrıca, hayatım boyunca her şekilde ve her zaman göstermiş oldukları maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve çok değerli nişanlıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayça TAC
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Sıvı Yakıtların Kimyasal Ekserjilerinin Hesaplanması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Selçuk Bilgen’ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

20/01/2016

Ayça TAC

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yakıtlar.....	4
1.2.1. Katı Yakıtlar.....	5
1.2.1.1. Kömür.....	5
1.2.1.2. Odun.....	7
1.2.2. Sıvı Yakıtlar.....	7
1.2.2.1. Petrol.....	8
1.2.2.2. Petrol Türevi Ürünler.....	13
1.2.2.2.1. Rafineri Gazı.....	14
1.2.2.2.2. Doğalgaz.....	15
1.2.2.2.3. Asfalt.....	17
1.2.2.2.4. Parafin.....	19
1.2.2.2.5. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı.....	20
1.2.2.2.6. Benzin.....	21
1.2.2.2.7. Nafta.....	22
1.2.2.2.8. Uçak Yakıtı.....	23
1.2.2.2.9. Kerosen.....	24
1.2.2.2.10. Fuel Oil.....	25
1.2.2.2.11. Motorin.....	27
1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	28
1.3.1. Biyoyakıtlar.....	31

1.3.1.1.	Piroliz.....	31
1.3.1.1.1.	Biyoetanol.....	33
1.3.1.1.2.	Biyodizel.....	33
1.4.	Termodinamik.....	33
1.4.1.	Termodinamiğin Sıfırıncı Yasası.....	35
1.4.2.	Termodinamiğin Birinci Yasası.....	35
1.4.3.	Termodinamiğin İkinci Yasası.....	37
1.4.4.	Termodinamiğin Üçüncü Yasası.....	39
1.5.	Ekserji.....	40
1.5.1.	Ekserji Verimi.....	42
1.5.2.	Ekserji ve Enerji.....	43
1.5.3.	Ekserji Geçişine Neden Olan Etkileşimler.....	45
1.5.4.	Ekserji Bileşenleri.....	45
1.5.4.1.	Fiziksel Ekserji.....	47
1.5.4.2.	Kimyasal Ekserji.....	47
1.5.4.2.1.	Standart Kimyasal Ekserji.....	47
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	49
3.	BULGULAR.....	62
4.	SONUÇ VE TARTIŞMA.....	84
5.	ÖNERİLER.....	87
6.	KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SIVI YAKITLARIN KİMYASAL EKSERJİLERİNİN HESAPLANMASI

Ayça TAC

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Selçuk BİLGEN
2016, 95 Sayfa

Her türlü insan aktivitesi yakıtların tüketilmesi ile desteklenir. Yakıtların termal, kimyasal ve biyolojik süreçleri çalıştırma kabiliyetinden dolayı onların tükenmesi insanlığın geleceği için çok tehlikelidir. Bu yüzden, bu kaynakları değerlendirmek için bir ölçü ortaya konulmalıdır. Doğal çevre koşullarında maksimum iş yapma yeteneği yakıtların değerlendirilmesi için bir ölçü olarak kabul edilebilir. Bu şekilde ifade edilen miktar ekserji olarak adlandırılır. Ekserji analizi, termal proseslerin termodinamik kusurlarının araştırılmasında termodinamiğin ikinci yasasının uygulanması sonucunda geliştirilmiştir. Ekserji yöntemi, daha verimli enerji kaynak kullanımının hedefini sürdürmek için bir araçtır. Kimyasal ekserji, çevre sıcaklığında ve basıncında maddenin ekserji içeriğini ifade eder. Bu çalışmada, sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerleri literatürdeki formüllerden hesaplandı ve sıvı yakıtların kimyasal ekserjisini onların elementel analiz değerlerinden belirlemek için yeni bir formül geliştirildi.

Anahtar Kelimeler: Sıvı yakıt, Kimyasal ekserji, Verim, Enerji, Termodinamik

Master Thesis

SUMMARY

CALCULATION OF THE CHEMICAL EXERGIES OF LIQUID FUELS

Ayça TAC

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Chemistry Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Selçuk BILGEN
2016, 95 Pages

All kind of human activities are supported by consumption of fuels. The exhaustion of fuels is very dangerous for the future of humankind because of their ability to run thermal, chemical and biological processes. Therefore, a measure should be introduced to evaluate these resources. The ability to perform maximum work in the conditions of natural environment can be accepted as a measure for the evaluation of fuels. The quantity defined in such a way has been termed as exergy. Exergy analysis has been developed as a result of the application of the second law of thermodynamics in investigation of the thermodynamic imperfection of thermal processes. Exergy method is a useful tool for furthering the goal of more efficient energy-resource use. Chemical exergy expresses the exergy content of the substance at environmental temperature and pressure. In this work, the chemical exergy values of liquid fuels have been evaluated from formulae in literature and a new formula has been developed for defining the chemical exergy of the liquid fuels from their ultimate analysis.

Keywords: Liquid fuel, Chemical exergy, Efficiency, Energy, Thermodynamics

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 2011 yılı dünya birincil enerji arzında kaynakların payı.....	1
Şekil 2. 2012 yılı türkiye birincil enerji arzında kaynakların payı.....	2
Şekil 3. Ham petrolden elde edilen asfalt görüntüsü.....	18
Şekil 4. Sıvı parafin görüntüsü.....	19
Şekil 5. Fuel oil görüntüsü.....	26
Şekil 6. Motorin görüntüsü.....	27
Şekil 7. Enerji kaynakları.....	28
Şekil 8. Hidrokarbon yakıt C _{ahb} ' nin kimyasal enerjisinin hesabı için düzenek.....	49
Şekil 9. $(e^{CH})_5$ ile e_{DAF}^{CH} arasındaki korelasyon.....	81
Şekil 10. $(e^{CH})_5$ ile $(e^{CH})_1$ arasındaki korelasyon.....	81
Şekil 11. $(e^{CH})_5$ ile $(e^{CH})_2$ arasındaki korelasyon.....	82
Şekil 12. $(e^{CH})_5$ ile $(e^{CH})_3$ arasındaki korelasyon.....	82
Şekil 13. $(e^{CH})_5$ ile $(e^{CH})_4$ arasındaki korelasyon.....	83

TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bazı petrollere ait özgül ağırlık ve API dereceleri.....	10
Tablo 2. Bölgeler göre görünür petrol rezervleri.....	12
Tablo 3. Bazı ülkelerin görünür petrol rezervleri.....	12
Tablo 4. Petrol rafineri ürünleri ve karbon bileşiği aralıkları.....	13
Tablo 5. Rafineri gazı bileşikleri ve kaynama noktaları.....	14
Tablo 6. Bir petrol kuyusundan çıkan serbest doğal gaz.....	16
Tablo 7. Bölgelere göre dünya görünür doğal gaz rezervi.....	17
Tablo 8. Asfaltın kimyasal içeriği.....	18
Tablo 9. Benzinin özellikleri.....	21
Tablo 10. Jet yakıtı JP-4, JP-5, JP-7 ve JP-8'in özellikleri.....	24
Tablo 11. Piroliz ve yanma arasındaki farklar.....	32
Tablo 12. Entropinin artışına ve azalışına neden olan olaylar.....	38
Tablo 13. Entropi ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması.....	39
Tablo 14. Enerji ve ekserji arasındaki farklılıklar.....	44
Tablo 15. Bazı maddelerin kimyasal ekserjileri.....	48
Tablo 16. Bazı yakıtların elementel analizi.....	50
Tablo 17. HHV eşitlikleri ve bunların değerleri.....	57
Tablo 18. Çeşitli maddelerin 1 bar basınçta spesifik ısı, entalpi, mutlak entropi ve gibbs fonksiyonunun sıcaklıkla değişimi.....	58
Tablo 19. Çeşitli maddelerin 298.15 K ve P_0 'daki standart molar kimyasal ekserji ($\bar{e}^{CH}$) değerleri.....	59
Tablo 20. Bazı hidrokarbonların β değerlerinin hesaplanması.....	61
Tablo 21. Sıvı yakıtların kuru ve külsüz bazda s_{DAF} (Kj/kg.K), v_{CO_2} , v_{H_2O} , v_{SO_2} , v_{N_2} , v_{O_2} değerleri.....	63
Tablo 22. Sıvı yakıtların $(HHV)_{DAF}$ (MJ/kg), $(LHV)_{DAF}$ (MJ/kg) ve β_1 , β_2 , β_3 ve β_4 değerleri.....	69
Tablo 23. Sıvı yakıtların e_{DAF}^{CH} , $(e_{DAF}^{CH})_1$, $(e_{DAF}^{CH})_2$, $(e_{DAF}^{CH})_3$, $(e_{DAF}^{CH})_4$ ve $(e_{DAF}^{CH})_5$ değerleri (MJ/kg).....	75

SEMBOLLER DİZİNİ

API	Amerikan Petrol Enstitüsü
BTEX	Benzen, toluen, etilbenzen, ksilen
CTL	Kömürün sıvı yakıtı dönüşümü
CV	Kontrol hacmi
DME	Dimetil eter
E_{sistem}	Sistemin toplam enerjisi
E^{PH}	Fiziksel enerji
E^{KN}	Kinetik enerji
E^{PT}	Potansiyel enerji
E^{CH}	Kimyasal enerji
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
H	Entalpi
H/C	Atomik hidrojen karbon oranı
HHV	Üst ısı değeri
K	Kömürleşme indeksi
KE	Kinetik enerji
LHV	Alt ısı değeri
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
O/C	Atomik oksijen karbon oranı
P	Basınç
P_0	Çevre şartlarındaki basınç
PAH	Polinükleer Aromatik Hidrokarbon
PEE	Petrol enerjisi eş değeri
PE	Potansiyel enerji
S	Entropi
S_0	Çevre şartlarındaki entropi
T	Sıcaklık
T_0	Çevre şartlarındaki sıcaklık
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri

U	İç enerji
U_0	Çevre şartlarındaki iç enerji
V	Hacim
V_0	Çevre şartlarındaki hacim
Q	Isı
W	İş
Δ	Değişim

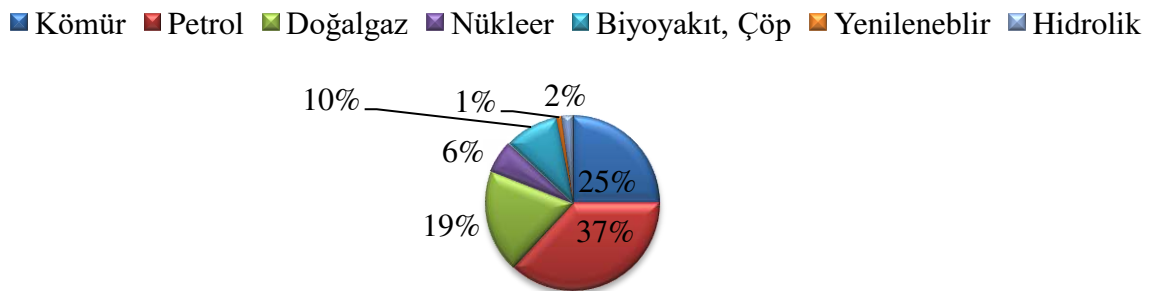
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsan topluluğunun yaşamını sürdürebilmesi ve hayatlarını kolaylaştırabilmek adına önemli birçok icat keşfedilmiştir. Bunlardan en önemlisi yaşadığımız modern zamanda bağımlı olduğumuz elektriktir. Enerji, ülkelerin kalkınmasında en önemli araç ve insan hayatında giderek önemi artan vazgeçilmez bir olgudur. Bu nedenle dünyada yaşanan önemli nükleer santral kazaları ve finansal krizlere rağmen, enerjiye olan talep gün geçtikçe artarak devam etmektedir.

Dünyada ki toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık %90' ı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıt sınıfında yer alan kömür, günümüzde petrol ve doğalgazla beraber; güç üretimi, ısınma ve sanayide kullanılan yakıtlardır. Fosil yakıtlar sonludur, ancak mevcut kömür kaynaklarının ömrü petrol ve doğalgaza göre daha uzundur (Eken, 2007). Ayrıca petrol ve doğalgaz kaynaklarının aksine kömür kaynaklarının yeryüzünde dağılımı daha homojendir. Fosil yakıtların kullanım ömrüne bakıldığı zaman petrolün 30-40 yıl, kömürün 200 yılın üzerinde yetebileceği tahmin edilmektedir (Taflan, 2003).

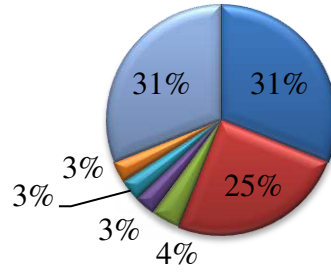
2004 yılı içinde dünya birincil enerji tüketimi 10.2 milyar ton petrol enerjisi eş değeri kadardır. Bunun %37' si petrolden, %27' si kömürden ve %24' ü doğalgazdan karşılanmaktadır. Dünya enerji tüketiminin %85' ini fosil kaynaklardan karşılamaktadır (Satman, 2006). 2011 yılında dünya birincil enerji arzında petrol %37, kömür %25, doğalgaz %19 ile toplam arzın %81' ini oluşturmuştur (D.E.K-T.M.K, 2014).



Şekil 1. 2011 yılı Dünya birincil enerji arzında kaynakların payı (D.E.K-T.M.K, 2014).

Türkiye'nin 2012 yılındaki toplam enerji arzının kaynaklara göre dağılımında, kömürdeki ithalatın artmasıyla %31 oranında kömür, %31 doğalgaz, %25 petrol, %4 hidrolik, %3 odun-çöp, hayvan, bitki artıkları ile jeotermal, rüzgâr ve güneş, %3 diğer kaynaklar şeklindedir (D.E.K-T.M.K, 2014).

■ Kömür ■ Petrol ■ Hidrolik ■ Odun-Çöp ■ Jeotermal, Rüzgar, Güneş ■ Diğer ■ Doğalgaz



Şekil 2. 2012 yılı Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payı (D.E.K-T.M.K, 2014).

1990-2012 yılları arasındaki yirmi iki yılda toplam birincil enerji üretimi %35 oranında artmıştır. Bu dönemdeki toplam birincil enerji arzı ise %128 veya 2.3 kat artmıştır. Üretimin toplam birincil enerji arzını karşılama oranı ise 1990 yılında %48 iken, 2000 yılında %32, 2011 yılında %28, 2012 yılında %28.5 olmuştur. Böylelikle 1990-2012 yılları arasındaki enerji üretimimiz yaklaşık %20 azalmış ya da dışa bağımlılığımızın %20 artmış olduğu söylenebilir. Türkiye'nin son derece hassas bir coğrafyada bulunması enerjide dışa bağımlılığının, en kısa sürede mümkün olduğu kadar azaltılmasını gerektirmektedir. Bunu sağlamak için enerji kaynaklarına yönelik yatırımlara hız verilerek enerji arzında ithalat oranı azaltılmalıdır. 1990-2012 arasında geçen yirmi iki yıl incelendiğinde, Türkiye'nin birincil enerji arzındaki net ithalat oranının; %52'den %72'ye yükselmiş olması, önemli bir risk oluşturmaktadır. Diğer taraftan 2012 yılı enerji ithalatı, 2011 yılına göre %11 artarak 60.1 milyar dolar olurken toplam Türkiye ithalatı içindeki payı %25.4 olmuştur (D.E.K-T.M.K, 2014).

Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin sınırlı ve bunların yakın bir gelecekte tükenecek olması, yenilenebilir enerji kaynakları arayışını hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından doğru ve sağlıklı bir biçimde yararlanılması için gereken strateji, plan ve politikaların önemi giderek artmakta ve önemli boyutlara ulaşmaktadır. Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel faktörüdür. Giderek artan ülke nüfusu, sanayileşme, şehirleşme ve teknolojinin gelişmesi gibi etkenler enerjiye olan ihtiyacı gün geçtikçe artırmaktadır. Enerjinin verimli ve gereksinimlere ihtiyaç verecek en doğru şekilde kullanılmasıyla bu soruna çözüm bulunabilir. Enerji ülkelerin gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olmakla beraber milli güvenlik, sosyal refah ve ekonomik gücüyle de ilişkilidir.

Yapılan çalışmalarda asıl amaç enerji dönüşüm sistemlerinin verimini artırmaktır. Enerjinin verimli kullanımı ile gerçekleştirilecek enerji tasarrufu, aynı ürünü elde etmek için gereken enerjinin azaltılması ya da aynı miktarda enerji ile daha fazla ürün elde edilmesini sağlayacaktır. Böylece gün geçtikçe azalan fosil yakıtların tüketimi azalacaktır. Dünya enerji ihtiyacında fosil yakıtlara olan bağımlılığın giderek artmasının doğuracağı olumsuzluklara karşı tedbir almak amacıyla fosil yakıtlara bir alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken önemin verilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı bir ömrü olması ve çevreye zarar vermesi de yenilenebilir enerjiye yönelmenin başka bir gereğidir.

Enerji çalışmalarında, yakıtın verimli dönüşümünün sağlanabilmesi için, yakıtın sahip olduğu enerjinin bilinmesi gerekmektedir. Enerji, çevre faktörleri ve dönüşümü gerçekleştiren sistemin verimi göz önüne alındığında %100 verimle dönüşmez. Yakıttan elde edilebilecek enerji (ekserji) sınırlıdır. Dolayısıyla yakıtın ancak bir kısmının (yani ekserjisinin) dönüştürülebilir olduğu bilindiğine göre, yakıtın kimyasal ekserji verilerinin de bilinmesi gerekmektedir. Bu durumda, sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerleri de enerji sistemlerinde önemli veriler haline gelmektedir.

Bugün dünyada mevcut enerjiyi fazla üretimle artırmak yerine zaten sınırlı olan enerji kaynaklarının rasyonel kullanılmasını sağlayarak enerji tasarrufu sağlanmakta ve mevcut enerjiyi daha verimli hale getirmek düşüncesi hâkim olmaktadır. Bütün dünyada bu düşünce hâkimken Türkiye’de kullanılmayan enerji miktarı ise bir hayli büyük boyuttadır (Şensöz, 1994).

Bu çalışmada, ekserji, kimyasal ekserji, kimyasal ekserjiyi hesaplama yöntemleri, sıvı yakıtlara ilişkin bilgiler verilmiş; bazı çalışmalarda birincil bilgi kaynağı bulgular elde etmek amacıyla, incelenen kimyasal ekserji hesaplama yöntemleri arasından seçilen hesaplama yöntemleri ile sıvı yakıtların kimyasal ekserjileri hesaplanmış ve hesaplanması kolay yeni bir formül türetilmiştir.

1.2. Yakıtlar

Yakıtlar yakıldığında çevresine ısı transfer eden maddelerdir. Temel olarak hidrokarbon karışımlarından oluşurlar ve karbon-karbon, karbon-hidrojen bağlarıyla değişik şekillerde bağlanmışlardır. Yakıtlarda genellikle karbon, hidrojen ve kükürt bulunur. Yanıcı maddeler olarak; oksijen ve azot diğer bileşenleri teşkil eder (Bilgen, 2000). Bu elementlerden en önemlisi karbondur. Yer kürede karbon elementi çok az miktarda bulunur ve dünyanın %0.04'ü kadarı karbondur. Katı yakıtlarda ayrıca yanıcı olmayan organik bileşenler vardır. Bunlar hem kalori değerine hem de kalori şiddetine tesir eder.

Yanma yakıtın bileşimdeki karbon, kükürt, hidrojenin oksijenle kimyasal reaksiyona girmesi sonucu meydana gelir. Kimyasal reaksiyon sırasında, reaksiyona giren maddelerin molekülleri arasındaki bağlar kopar, serbest kalan atomlar ve elektronlar yeni bir düzen oluşturarak kimyasal reaksiyondan elde edilen madde ve maddeleri oluştururlar (Yüncü, 2010). Yanma esnasında karbon-karbon ve karbon-hidrojen arasındaki bağlar kopar ve oksijen atomuyla yeni bağlar kurulur (Karbon monoksit, karbondioksit gibi bileşikler). Bu kurulan yeni bağlar neticesinde kimyasal enerji açığa çıkar. Yanmada geçerli kanunlar termodinamiğin esas kanunları ve kütlenin korunumu prensibidir.

Yakıtın bileşimindeki karbon, hidrojen ve kükürdün tamamının oksijenle reaksiyona girmesi sonucu karbondioksit, su ve kükürt dioksit oluşuyorsa bu tam yanma olarak adlandırılır. Yanmanın başlayabilmesi için yakıtın tutuşma sıcaklığına getirilmesi gerekir.



Tam yanma için gerekli şartlardan herhangi biri oluşmuyorsa; yani karbonun tamamı karbondioksit, hidrojenin tamamı suya ve kükürdün tamamı kükürt dioksit dönüşmüyorsa yanma tam yanma değildir. Yanma sonrası ürünlerde karbon monoksit ve oksijene rastlanır. Hidrojen oksitlenmeye çok yatkın olduğundan genellikle yanma sonrası ürünlerin arasında oksitlenmemiş hidrojene rastlanmaz. Yanma ürünleri içerisindeki karbon monoksit ve reaksiyona girmemiş oksijen miktarı yanma öncesinde yakıt ve havanın yanında fazladan verilen hava miktarına da bağlıdır (Yüncü, 2010).

Yakıtın kıymeti birim kütlesinin ürettiği ısı potansiyeline yani kalori şiddetine bağlıdır. Yakıtta bulunan yanmayan madde, her yakıtın bileşim analizi sonucu tespit edilir. Yakıtlar fiziki yapılarına göre katı, sıvı, gaz; ısı çıkarma kabiliyetine göre de birkaç sınıfa ayrılır.

1.2.1. Katı Yakıtlar

Katı yakıtlar kömür ve odun olmak üzere iki grupta incelenir. Doğal katı yakıtlar doğadan elde edilen fosil kömürler, antrasit, taş kömürü, linyit ve turba gibi ya da işlem gördükten sonra kullanılabilen kok, briket, sömükkök, odun kömürü, petrol koku, koloidal yakıt ve pulverize kömür gibi yakıtlardır.

1.2.1.1. Kömür

Kömür, fosil kaynaklı yakıt olarak, yüzlerce yıldır enerji kaynağı olarak kullanılmakta olup karmaşık bir maddedir. Kömür yapısının belirlenmesi için çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, henüz tam olarak bir sonuca ulaşılammıştır. Kimyasal olarak kömür, karbon, hidrojen, oksijen, az miktarda kükürt, çeşitli miktarda inorganik bileşik ve mineral madde içermektedir. Bu maddenin karbon iskeleti ve bu iskelete oksijen, hidrojen, azot ve kükürt atomlarının nasıl bağlanacağı önemlidir. Kristalleşmeyen ve tam olarak çözünmeyen katı fosil bir hidrokarbondur (Tekeş, 2007). Kömür, çoğunlukla lignoselülozik esaslı, değişik oranlarda organik ve inorganik bileşenler içeren, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, biyolojik ve jeolojik süreçler sonucu meydana gelen tortul bir kayadır. Temel yapısı organik ve inorganik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Uzun, 2002).

Organik yapısı karbon, hidrojen, oksijen, az miktarda kükürt ve azottan oluşmakta iken inorganik yapısı nem ve mineraller ihtiva etmektedir (Çit, 2007). Genellikle kuru olarak %50'den fazla yanabilen madde içerir (Kuzoluk, 2014).

Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun şartların sağlanması durumunda, hayvan ve bitki artıklarının yüksek basınç altında sıcaklık ve mikroorganizmaların etkisiyle bozunması, bataklık suyuyla bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, sırasıyla önceleri su ve su buharı, karbondioksit, oksijen ve en ileri aşamalarda hidrojen uzaklaşır (URL-1, 2015). Çok sayıda ve farklı türlerdeki bitkilerden meydana gelen kömür heterojen bir yapı oluşturur. Kömür, petrol gibi yoğun olarak karbon ve hidrojenden oluşmasına karşın petrole kıyasla daha düşük hidrojen ve daha yüksek karbon içeriğinden dolayı katı halde bulunmaktadır (Hayta, 2010).

Kömürün oluşmasında rol oynayan önemli bir etkende iklim şartlarıdır. Bugün yeryüzünde kilometrelerce alana yayılmış kömür kaynaklarının bulunuyor olmasına neden olarak bu geniş alanlar boyunca iklimin değişmemiş olması gösterilmektedir. Kömür daha çok rutubetli, tropikal iklime sahip, su ile büyüyen bitkilerin bulunduğu ortamlarda oluşmaktadır. Aynı şekilde kömürün oluşması için geçirgenliği zayıf havza ve bataklıklara da ihtiyaç vardır. Bitkilerin hava ile teması sonucunda bozunmalarını önlemek için üzerlerinin yeterli miktarlarda su ile örtülmesi gereklidir (Tekeş, 2007).

Kömürleşme süresi, 400 milyon yıla 15 milyon yıl arası değişmektedir. Kömürleşme süreci ve yataklaşma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik gösterirler. Genellikle yaşlı kömürler daha yüksek kalorili ve kalitelidir. Kömür, turba, linyit, taş kömürü ve antrasit gibi sınıflara ayrılır ve farklı kullanım alanları vardır.

Günümüzde petrolün pahalalanması kömürü daha bir ön plana çıkarmıştır. Kömür enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olmakla beraber gerek rezerv gerekse coğrafi bakımdan dünyanın bilinen en geniş maden yataklarını oluşturmaktadır. Kömür insanlar tarafından metalürjik amaçlarla, özellikle evsel ısıtmada, yiyeceklerin pişirilmesinde, metallerin ergitilmesi ve şekil verilmesinde, aydınlatmada, sanayi devriminin gerçekleşmesiyle buhar makinelerinde yakıt olarak kullanılmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle beraber kömür sadece enerji kaynağı olarak değil, kimya sanayisinde boya, ilaç, plastik, naftalinden benzene dek on bine yakın ürünün elde edilebileceği çok kıymetli bir hammadde olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kömürler yakıt hammaddesi olarak kullanılabildikleri gibi çeşitli kimyasalların üretiminde ve kok yapımında da kullanılabilirler (Çit, 2007).

1.2.1.2. Odun

Odun, temel olarak selüloz ve lignin ihtiva eden bir maddedir. Selüloz ve kağıt sanayisinin ham maddesi olan odun, ayrıca kömürün ve ısıtma yağlarının bulunmadığı yerlerde yakıt olarak kullanılır.

Susuz ve külsüz odunun elementel bileşimi %49-51 karbon, %5.9-6.2 hidrojen, %45-53 oksijendir. Yaş odunun su miktarı %30-60 arasında değişmektedir. Ayrıca %0.5 oranında kül ihtiva etmektedir. Organik bileşenlerin oranlarındaki değişimler, odunun kalorifik değerlerinde gözlenen değişimleri ifade eder. Saf selülozun kalorifik değeri 4150cal/g' dır. Odun reçinesi ve odun mumunda bu değer 9450cal/g' a yaklaşır. Odunun ısı değeri, bünyesindeki nem oranı arttıkça düşüş göstermektedir. Aynı neme sahip iki odun cinsinden lignini daha fazla olanın ısı değeri daha yüksektir. Çünkü ligninin (%65 C) ısı değeri 6100kcal/kg olup saf selüloza (%44C, LHV=4300kcal/kg) oranla daha yüksektir. Reçinenin ısı değeri ise 8500-9000kcal/kg olduğundan çam gibi iğne yapraklı ağaçların ısı değeri, lignin ve reçine az olan geniş yapraklı ağaçlara oranla daha yüksektir (Bilgen, 2000).

Odun bir yakıt olarak yakılabilir. Odunun kolaylıkla tutuşması, büyük kısımlarının kolaylıkla yanmaması, aşırı havada uzun, dumansız bir alev üretmesi ve kolaylıkla yanan talaşlardan $0.3-0.7\text{ton/cm}^2$ basınçta tutkalsız briketler yapılması onun karakteristiklerindendir.

1.2.2. Sıvı Yakıtlar

Doğal akaryakıtlar petrol ve petrolün destilasyon ürünleridir. Yapay akaryakıtlar ise sentez yoluyla elde edilen ispiro gibi, ağır petrol fraksiyonlarının krakingi, taş kömürü, linyit, odun ve bitüm ile asfaltın destilasyonundan elde edilen ürünlerdir.

Petrol gibi fosil enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükenmekte olması yerini alabilecek alternatif kaynakların araştırılması yönündeki çalışmaları hızlandırmıştır. Sentetik sıvı yakıtlara ve organik kimyasal maddelere kaynak oluşturan, petrol türevi hammaddelere gereksinim giderek artmaktadır. Bu gereksinimleri karşılayacak alternatif enerji kaynaklarından olan linyit ve bitümlü şistler, ülkemizde en büyük katı fosil yakıt rezervlerimizi oluşturmaktadır.

Kömürlerden sıvı yakıt elde edilmesi veya converting coal to liquid fuel (CTL) uygulamalarıyla G.Afrika’ da günde 160.000 varil/gün kapasiteli tesisler bulunmaktadır. G.Afrika’ da bu uygulama 1995 yılında başlamıştır. Şu anda ülkenin benzin ve dizel ihtiyacının %30’ u yerli kömürden elde edilen bu yakıtla karşılanmaktadır. Diğer taraftan kömürden elde edilen sıvı yakıt, ham petrol fiyatlarındaki ani değişiklikleri etkilemiştir. Ayrıca, kömürden elde edilen dimetileter (DME), kanserojen ve toksik olmayan bir yakıt olup daha az karbon monoksit oluşturur ve sıvılaştırılmış petrol gazı olan LPG’ den daha az hava kirliliği yaratır. Ancak CTL uygulamalarının özellikle çok büyük uygun yerli kaynağı olan ülkeler için yararlı olabileceği ifade edilmektedir (D.E.K-T.M.K, 2014).

Türkiye’ de TÜBİTAK, İTÜ, MÜ vb. kuruluşlar tarafından desteklenen, TKİ ve EİE kuruluşlarının muhatap olduğu TÜBİTAK’ ın finanse ettiği projenin amacı; kömür ve biyokütle karışımlarından daha ekonomik, verimli, çevre dostu sıvı yakıt üretilmesidir. Ayrıca yüksek verimlilikte santraller için uygulanabilir teknolojiler geliştirilerek, pilot ölçekte demonstrasyonu amaçlanmıştır. Proje ile ilgili olarak 250kg/saat kapasiteli linyit ve biyokütle ile günde 6-7 varil sentetik petrol üretecek olan pilot çaplı tesisin tasarımı tamamlanarak, Soma’daki TKİ-Ege Linyitleri Müessesesinde kurulmaktadır (D.E.K-T.M.K, 2014).

1.2.2.1. Petrol

Petrol adını Latince’ de taş anlamına gelen “petra” ve yağ anlamına gelen “oleum” sözcüklerinden alır. Petrol tarihte aydınlatma, ısıtma ve yol yapım malzemesi olarak kullanılmıştır. 19. Yüzyılın sonuna doğru petrol üretimi artmış, en önemli ürün olarak kerosen yani gaz yağı elde edilmiştir. Kaydırıcı yağı ve mazot iki önemli ürünken, benzin Birinci Dünya Savaşı’ndan sonra otomobil ve diğer motorlu araçların kullanımının artmasıyla önem kazanmıştır.

Petrol doğada gaz, sıvı, yarı katı veya bunların bir karışımı şeklinde bulunabilmektedir. Kimyasal olarak ham petrol kompleks bir hidrokarbonlar karışımı olup yaklaşık olarak %80-83 karbon, %10-14 hidrojen, %0.1- 2 azot, %0.05-1.5 oksijen, %0.05-6 kükürt ve 1000ppm'den az metaller (Ni, V..) ihtiva etmektedir (Speight, 2001). Petrol içerdiği sülfür oranına göre hafif ve ağır petrol olmak üzere ikiye ayrılır. Hafif petrolden benzin elde edilirken, ağır petrolden de mazot elde edilmektedir (Öztürk ve Karbuz, 2006). Petrolün belirli bir kimyasal bileşimi yoktur. Ortalama bir petrolü %30 parafinler, %40 naftenler, %25 aromatik hidrokarbonlar oluşturur. Geride kalan %5'lik kısmı ise oksijen, azot ve kükürt bileşikleridir.

Kokusundan rengine kadar birçok özelliği çıkarıldığı yere göre değişir. Amerika'da, bilhassa Pennsylvania bölgesinde çıkan petroller daha ziyade hidrokarbon sınıfından olan bileşikler, Rus petrolleri fena kokulu naften sınıfına giren bileşikler, Romanya petrolleri ise bu ikisinin bir karışımını ihtiva ederler. Petrol içeriğinde hafif hidrokarbonlar mevcut ise hoş kokulu ancak içeriğindeki doymamış hidrokarbonlar, kükürt, azot oranı arttıkça kokusu ağırlaşır. Petrol genellikle kahverengi, koyu yeşil ya da siyah renktedir. Hafif petroller açık kahverengi, sarı ya da yeşil renkte olurken, ağır petroller koyu kahverengi ya da siyah renktedir (Speight, 2001).

Petrolün yoğunluğu ve özgül ağırlığı kimyasal bileşimine bağlıdır. Bu özellikler petrolün kalitesini ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Petrol içerisindeki hidrokarbon oranı, gaz oranı, kükürt oranı bu değeri etkiler. Rus petrolü en hafif petrol olarak bilinir ve özgül ağırlığı 0.65 iken, en ağır petrol olarak bilinen Meksika petrolünün özgül ağırlığı 1.08 değerindedir (Speight, 2001). Petrol endüstrisinde yoğunluk ve özgül ağırlık verileri yerine yaygın olarak özgül ağırlık değerinden elde edilen API (American Petroleum Institute) derecesi kullanılır. Dünya petrolleri genel olarak 27°-35° API derecesine sahiptir.

$$API = \left(\frac{141,5}{\text{öz.ağ.}(15,6^\circ \text{C})} \right) \quad (4)$$

Tablo 1. Bazı petrolere ait özgül ağırlık ve API dereceleri (Speight, 2001).

Ham Petrolün Çıkarıldığı Yer	Özgül Ağırlık (g/mL)	API Derecesi
Pennsylvania	0.800	45.4
Oklahoma	0.816	41.9
Texas	0.827	39.6
İran	0.836	37.8
Suudi Arabistan	0.840	37.0
Irak	0.844	36.2
California	0.858	33.4
Kuveyt	0.860	33.0
Bahreyn	0.861	32.8
Venezuela	0.950	17.4

Petrolün viskozitesi bileşimine göre değişmektedir. Ağır bileşenlerin oranı arttıkça viskozite de artar. Aynı zamanda sıcaklık, basınç ve yüzey gerilimi de petrolün viskozite değerini etkiler. Petrolün diğer bir önemli özelliği anilin noktasıdır, petrolün bileşimi hakkında bilgi verir. Anilin noktası eşit hacimdeki petrol ürünü ile anilin karışımının homojen ve saydam bir karışım meydana getirdiği minimum sıcaklıktır. Petrolün ne kadar aromatik ya da ne kadar parafinik olduğunu belirlemede önemlidir. Aromatikler anilinde kolayca çözündükleri halde, naften ve alifatikler sadece yüksek sıcaklıkta çözünürler.

Petrol kısmen gaz basıncı ve suyun yardımıyla oluştukları yerden daha yüksek düzeylere geçmiş ve kat ettikleri yolda bazı maddeleri almış, bazı maddeleri de vermiştir. Petrolün oluşumu ile ilgili iki görüş mevcuttur.

1. Anorganikçilere göre: Petrol metal karpitlerin kızgın su buharıyla muamelesinden oluşmuştur.
2. Organikçilere göre: Ham petrol içinde tespit edilen porfirinler, klorofil ve hemin türevleri olduğundan, petrolün ilk maddesini bitkiler ve hayvanlar teşkil etmektedir.

Porfirinler 200°C'nin üzerinde bozulduğundan, ham petrolün bu sıcaklığın altında oluştuğu düşüncesi ortaya çıkmaktadır. Günümüzde petrolün oluşumunda yağların, proteinlerin ve lipidlerin temel maddeleri teşkil ettiği yaygın olarak kabul edilmektedir.

Doğada bulunduğu şekliyle petrol, hemen hemen yararsızdır. Yararlı ürünler haline gelinceye kadar rafine edilmesi gerekmektedir. Bir rafineride, ham petrol ısıtılır ve ağır asfalttan hafif gazlara kadar çeşitli ürünlere ayrılır. Ham petrolde metandan başlayıp asfalta kadar yüzlerce birbirinden farklı bileşikler bulunur. Petrolün rafinasyonu sonucu petrol ürünleri elde edilir. Petrol rafinasyonu önceden ham petrolde bulunan bileşenlerin basit bir fraksiyonu iken, günümüzde petrolde başlangıcından beri bulunan bileşiklerin molekül yapılarını değiştirmek için, kimyasal reaksiyonların kullanılması gerekli ve ekonomik olmuştur. Plastikler, yağlar, sentetik lifler, deterjanlar, sentetik gübreler petrokimya kökenli ürünlerdir.

Petrol çıkarımı işlemi ilk başlarda ilkel yöntemler ile gerçekleştirilmiş ve petrolden asfalt ve yağ üretilerek kullanılmıştır. İlk petrol kuyusu ise Fransa'da 1745'te açılmıştır, 1847 yılında ise ilk petrol ürünlerinin işlemesi İskoçya'da gerçekleştirilmiştir. Petrol üretimi amaçlı açılan ilk kuyu ise ABD'nin Pennsylvania eyaletinde kurulmuştur (Doğan, 2010).

Petrol diğer birincil enerji kaynakları arasında kullanımı oldukça yoğun bir enerji türüdür. Petrol sadece enerji hammaddesi olmayıp aynı zamanda da boya, plastik, kozmetik, demir-çelik, eczacılık ve alüminyum gibi benzeri sanayi alanlarının ana girdilerinin üretildiği hammaddeler içerisinde de bulunmaktadır. Bu durum da petrolün değerinin ve etki alanlarının günden güne artmasına sebebiyet vermektedir (Doğan, 2010).

Dünya petrol rezervlerinin yaklaşık olarak yarısı Orta Doğu bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölgeyi yaklaşık %19'luk bir pay ile Güney ve Orta Amerika bölgesi takip etmektedir. Bu coğrafyadaki en önemli ülke Venezuela olup dünya rezervinin yaklaşık %18'i bu ülkede bulunmaktadır. Venezuela'yı yaklaşık olarak %16 petrol rezerv payı ile Suudi Arabistan takip etmektedir (E.T.K.B., 2015).

Tablo 2. Bölgelere göre görünür petrol rezervleri (E.T.K.B., 2015).

Bölge	Miktar (Milyar Varil)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Orta Doğu	810.7	%47.68
Güney ve Orta Amerika	330.2	%19.43
Kuzey Amerika	232.5	%13.68
Avrupa ve Avrasya	154.8	%9.10
Afrika	129.2	%7.60
Asya Pasifik	42.7	%2.51
Dünya Toplamı	1.700.1	%100

Tablo 3. Bazı ülkelerin görünür petrol rezervleri (E.T.K.B., 2015).

Bölge	Miktar (Milyar Varil)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Venezuela	298.35	%17.5
Suudi Arabistan	267.00	%15.7
Kanada	172.92	%10.2
İran	157.80	%9.3
Irak	150.00	%8.8
Rusya	103.16	%6.1
Kuveyt	101.50	%6.0
Birleşik Arap Emirlikleri	97.80	%5.8
ABD	48.46	%2.9
Libya	48.36	%2.8
Nijerya	37.07	%2.2
Kazakistan	30.00	%1.8
Dünya Toplamı	1.700.1	%100

1.2.2.2. Petrol Türevi Ürünler

Ham petrol farklı sıcaklıklarda kaynayan ve destilasyon ile çeşitli fraksiyonlara ayrılan bileşenlerin bir karışımıdır. Başlıca rafineri ürünleri; rafineri gazı, doğalgaz, asfalt, parafin, sıvılaştırılmış petrol gazı, benzin, nafta, uçak yakıtı, kerosen, fueloil ve motorindir. Petrokimya sanayisinde bu ürünler ham madde veya destek madde olarak kullanılır. Plastik, sentetik lifler, sentetik kauçuk, deterjan ve kimyasal gübreler gibi ürünler üretilir. Ayrıca ısı üretiminde fırınlarda, enerji santrallerinde enerji üretimi için yakıt olarak kullanılırlar.

Tablo 4. Petrol rafineri ürünleri ve karbon bileşiği aralıkları (Speight,2001).

Rafineri Ürünleri	Alt Karbon Sayısı Sınır	Üst Karbon Sayısı Sınırı	Alt Kaynama Noktası (°C) (1 atm)	Üst Kaynama Noktası (°C) (1 atm)
Rafineri gazı	C1	C4	-161	-1
LPG	C3	C4	-42	-1
Benzin	C4	C12	-1	216
Nafta	C5	C17	36	302
Uçak türbin yakıtı	C8	C16	126	287
Kerosen/Dizel	C8	C18	126	258
Fuel oil	C12	>C20	216	421
Parafin (Vaks)	C17	>C20	302	>343
Yağlayıcı Yağ	>C20		>343	
Asfalt	>C20		>343	
Kok	>C20*		1000*	

*Karbon sayısı ve kaynama noktasının belirlenmesi çok zordur, verilen değerler örnek olarak verilmiştir.

1.2.2.2.1. Rafineri Gazı

Rafineri gazı petrolün destilasyonu esnasında elde edilen C1 ve C4 karbon bileşikleri olan yoğunlaştırulamayan gazlardır (Speight, 2001). Çoğunlukla hidrojen, metan, etan, propan, bütan ve olefinlerden oluşmakla birlikte, petrokimyasal proseslerden çıkan bir miktar C3, C4, N₂, ve H₂S gazlarını da içerebilmektedir.

Rafineri gazı, rafineri gaz sisteminde üretilir, toplanır ama çabucak kullanılmak zorundadır ve normalde bir ürün olarak satılamaz. Bileşimi, rafineri işlemlerine bağlı olarak zamanla değişebilir. Rafinerinin, rafineri gaz sistemine sentez gazı (CO+H₂) sağlayan bir koklaştırıcıya sahip olup olmamasına bağlı olarak tesisten tesise farklılık gösterir. Eğer düzgün işlenirse rafineri gazı kirleticiliği düşük bir yakıttır. Bu gazlar kaynaktayken sülfürsüz (örneğin, katalitik reformer ve izomerizasyon proseslerinden çıkar) veya kaynaktayken sülfürlü (ham petrol destilasyon, kırma koklaştırma ve tüm hidrodesülfürizasyon prosesleri gibi diğer çoğu prosesten çıkar) olabilir (Ç.Ş.B., 2012).

Tablo 5. Rafineri gazı bileşikleri ve kaynama noktaları (Speight, 2001).

Gazlar	Kaynama Noktası (°C), (1atm)
Metan	-161.5
Etilen	-103.7
Etan	-88.6
Propilen	-47.7
Propan	-42.1
İzo-Bütan	-11.7
İzo- Büten	-6.9
1-Büten	-6.3
1,3-Bütadien	-4.4
N-Bütan	-0.5
Trans-2-Büten	0.9
Cis-2-Büten	3.7
1,2-Bütadien	10.9

1.2.2.2.2. Doğalgaz

Doğalgaz ne olduğu anlaşılmadan önce insanlara gizemli bir olay gibi görünmüştür. Yeraltındaki gaz sızıntılarının, örneğin şimşek çakması nedeniyle yanmaya başlamasını pek çok medeniyet hayret ve şaşkınlıkla karşılamış, bu olaylar yerin derinliklerinden yaratılan bir işaret kabul edilerek pek çok batıl inancın kökü olmuştur. Bu tip alevlerin en meşhur olanı antik Yunanistan'daki Parnasus dağında (M.Ö. 1000 dolayları) bir çoban tarafından görülmüş ve bunun bir kehanet olduğu düşünülerek alevin olduğu yere bir mabet yapılmıştır. Mabette Delhi Kâhini olarak bilinen bir kadın papaz oturur ve alevden yayılan kehanetleri bildirirdi. Bu gibi alev kaynakları Hindistan, Yunanistan ve Eski İran inançlarında doğaüstü güçler olarak kabul edilmiştir. M.Ö. 500 yıllarında Çinliler bu alevlerden yararlanmaya başlamışlardır; gaz sızıntılarının bulunduğu alanları belirleyerek bambulardan boru hatlarıyla gazı çeşitli bölgelere taşımış ve deniz suyunu ısıtarak tuzundan arındırıp içme suyu elde etmişlerdir (Beşergil, 2007).

Doğalgaz; havadan hafif renksiz ve kokusuz bir gazdır, uçucu özelliğe sahiptir. Kokusuz olması gaz kaçağlarının fark edilmesinde sıkıntı oluşturabileceğinden, tetrahidrofen maddesi katılarak, özel olarak kokulandırılır. Hava içerisinde belirli bir yüzdeye ulaştığında tehlikeli olabilir. Bu sınırlar arasında tutuşturucu bir kaynakla temas ettiğinde patlar. Zehirli bir gaz değildir ancak kaçaqlarda, havadaki gaz miktarının artmasıyla zehirlenmelere yol açabilir (Pfeiffer, 2000). Doğalgaz, rutubetsiz, kuru bir gazdır ve içerisinde yanmayan hiçbir madde yoktur. Bu yüzden verimi yüksektir. Ayrıca kükürt ve kükürtlü maddelerde olmadığı için kükürt dioksit gibi zehirleyici gaz açığa çıkarmaz. Ancak uygun koşulların oluşturulmaması sonucu tam yanma sağlanmazsa karbon monoksit oluşturur (Özdemir, 2006).

Doğalgaz, doğal olaylar sonucu olmuştur. Doğalgaz, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan artıklarının zamanla yeryüzü kabuğunun derinliklerine gömülüp kimyasal ayrışma uğraması sonucu ortaya çıkmıştır. Organik madde olarak bilinen bu bitki ve hayvan artıkları doğal süreçler sonucu göl ve okyanuslara taşınıp, dibe çökerek çamur ve kumla kaplanarak kayalaşmıştır. Giderek daha derine gömülen bu organik madde, basınç, sıcaklık ve muhtemelen bakteri ve radyoaktivitenin etkisiyle ayrışarak petrol, kömür ve doğalgazı oluşturmuştur (Gülcü, 2010).

Fosil yakıtlar grubundan hidrokarbon esaslı doğalgaz, büyük oranda metan ve daha az oranlarda etan, propan ve bütan içerir. Yer altında gözenekli kayaların boşluklarına sıkışmış olarak ya da petrol yataklarının üzerinde gaz halinde büyük hacimler şeklinde bulunur. Yeraltında petrolün yakında bulunur. Doğalgaz, petrol rezervlerinde serbest gaz, rezervde petrol ile eriyik halde veya sadece gaz bileşenleri içeren rezervlerde bulunmaktadır.

Yanma sırasında kül, cüruf bırakmadan yanan, depolama sorunu olmayan, daha da önemlisi yanma sonucunda havayı kirleten kükürt dioksit ve karbon dioksit gazları çıkarmayan çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Geleneksel katı ve sıvı yakıtların tamamı yanma sırasında atmosfere çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri bulunan bazı gazlar yayarken temiz enerji olarak da adlandırılan doğalgazın çevre üzerinde kirletici etkileri bulunmaz (Gültekin ve Örgün, 1993).

Tablo 6. Bir petrol kuyusundan çıkan serbest doğal gaz (Speight, 2001).

Kategori	Bileşik	Miktar (%)
<i>Parafinik</i>	Metan (CH_4)	70-98
	Etan (C_2H_6)	1-10
	Propan (C_3H_8)	İz-5
	Bütan (C_4H_{10})	İz-2
	Pentan (C_5H_{12})	İz-1
	Hekzan (C_6H_{14})	İz-0.5
	Heptan ve üstü (C_7^+)	İz yok
<i>Siklik</i>	Sikloparopan (C_3H_6)	İz
<i>Aromatik</i>	Sikloheksan (C_6H_{12})	İz
<i>Hidrokarbon olmayan</i>	Benzen (C_6H_6) diğerleri	İz
	Azot (N_2)	İz-15
	Karbondioksit (CO_2)	İz-1
	Hidrojen sülfür (H_2S)	Bazen iz
	Helyum (He)	İz-5
	Diğer sülfür ve azot bileşikleri	Bazen iz
	Su (H_2O)	İz-5

Dünya görünür doğalgaz rezervi 2014 yılı itibarıyla 187,1 trilyon m³'tür. Bu rezervin %42,7'si Orta Doğu bölgesinde bulunmaktadır. İran ve Katar bu bölgede önemli rezervlere sahip ülkeler olarak öne çıkmaktadırlar. Avrupa ve Avrasya bölgesi görünür rezerv açısından %31 ile ikinci sırada yer alırken bu bölgede rezerv açısından Rusya önemli bir pozisyona sahiptir. Orta doğu bölgesi rezerv açısından zengin olmasına rağmen üretim/rezerv oranı düşük bir bölgedir. Avrupa ve Avrasya bölgesi dünya üretiminin %28,8'ini karşılarken bu oran Orta Doğu bölgesi için %17,3'tür (E.T.K.B., 2015).

Tablo 7. Bölgelere göre Dünya görünür doğal gaz rezervi (E.T.K.B., 2015).

Bölge	Miktar (Trilyon m ³)	Dünya Toplamındaki Payı (%)
Ortadoğu	79.8	%42.7
Avrupa ve Avrasya	58.0	%31.0
Asya Pasifik	15.3	%8.1
Afrika	14.2	%7.6
Kuzey Amerika	12.1	%6.5
Güney ve Orta Amerika	7.7	%4.1
Dünya Toplamı	187.1	%100

1.2.2.2.3. Asfalt

Asfalt; durağan, dayanımlı, akamaz halden katı hale kadar değişkenlik gösteren siyah ve kahverengi organik bir maddedir. Bir hidrokarbon olan asfaltın kimyasal bileşimi oldukça karışık ve değişken olup petrolün destilasyonundan veya doğal yataklardan elde edilir. Çamur ve göl halinde (Bermudez kara gölünde ve Trinidad'daki kara gölde) bulunduğu gibi, yer altında kaya aralarında sert halde de bulunur. Sert haldekiler yer altından maden çıkarılır gibi çıkarılır.

Ayrıca kum taşlarında ve killeri arasında da bulunur. Bugün yaygın olarak kullanılan asfalt, petrolün rafinasyonundan elde edilen yan üründür (URL-2, 2015).

Normal hava sıcaklığında kullanılamayacak kadar katı olan asfalt; benzin, mazot, gazyağı ve bunlardan farklı bir teknik olan su ile karıştırılarak inceltir ve kullanılacak hale getirilir. Asfalt, baskın hidrokarbon kökenli yapıdan oluşmakla birlikte içeriğinde hidrojen, çok az miktarda sülfür, oksijen ve nitrojen bulunmaktadır (Gezer, 2009).

Tablo 8. Asfaltın kimyasal içeriği (Gezer, 2009).

Element	% Değeri
Karbon	82-88
Hidrojen	8-12
Sülfür	0-6
Oksijen	0-1.5
Nitrojen	0-1

Asfalt, yolların, hava alanlarının kaplanmasında, çatı izolasyonunda, su ile ilgili olan yapılarda su geçirmezlik sağlamada kullanılır. Asfaltın yapışkan özelliği vardır. Boya sanayisinde, akü üretiminde, su kanallarını kaplamada ve kil tuğlalarını yapıştırmada kullanılır.



Şekil 3. Ham petrolden elde edilen asfalt görüntüsü (URL-2, 2015).

1.2.2.2.4. Parafin

Parafin, petrolden elde edilen renksiz, kokusuz bir mum çeşididir. Genel olarak C_nH_{2n+2} şeklinde alkan bileşenlerini içerirler. Parafinler, oda sıcaklığında vaks kıvamına sahip büyük oranda ağır hidrokarbonlardan oluşan maddelerdir. Saf parafinler sadece alkanlardan oluşur ve en iyi bilinen parafin okta dekan'dır. Karbon atomu sayısı 14-40 arasında olan alkanların erime noktası, 6-80°C aralığındadır. Alkanların erime noktası karbon sayısının artmasıyla artar. Metandan pentana kadar olan serideki ilk beş bileşik oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında gaz halindedir, ancak molekül ağırlıklarının artmasıyla buharlaşma oranları azalır. $C_{15}H_{32}$ ve $C_{5}H_{12}$ arasındaki bileşikler sıvıdır. 15'ten fazla karbon atomu bulunan bileşikler oda sıcaklığında mum gibi katı durumdadır (Mazman, 2006).



Şekil 4. Sıvı parafin görüntüsü (URL-2, 2015).

Parafinin başlıca kullanım yerleri;

1. Parafine batırılmış veya parafinle kaplanmış kağıt ve karton, sıvı ve katı yiyeceklerin saklanması için kullanılır. Çünkü parafin mumları reaksiyona girmez.
2. Çeşitli sanayi dallarında kimyevi ve elektriği yalıtma maddesi olarak kullanılır.
3. Tekstilde, eczacılıkta, kozmetik sanayisinde, plastik, patlayıcı madde ve elektrik malzemelerinin imalinde, bağcılıkta aşı yerlerinin izolasyonunda kullanılır.
4. Mum imalatında balmumunun yerine kullanılmaktadır.

1.2.2.2.5. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

LPG endüstrisi diğer endüstri dallarına kıyasla daha gençtir. 1904 yılında doğalgazdan sıvı benzin fraksiyonlarının ayrıştırılmasıyla elde edilmiştir. Önceleri şişelenerek aydınlatma amacıyla kullanılan, propanla beraber diğer doğalgaz sıvı hidrokarbonlarını da içeren karışım ilerleyen yıllarda benzin bileşenlerinden arındırılıp basınç altında sıvılaştırılarak bugün LPG olarak kullandığımız ürüne dönüştürülmüştür. LPG portatif sobalarda, asetilene alternatif olarak kaynakta, fueloil yerine alternatif yakıt olarak, soğutucu olarak, doğalgaz boru hatlarının ulaşamadığı yerlerde elektrik üretimi için kullanılmıştır (Beşergil, 2007).

LPG, yüksek basınçta sıvılaştırılmış, kaynama noktası 1 atm basınçta -42°C olan propan ve kaynama noktası 0°C olan bütan karışımından oluşur. Sıvılaştırılmış petrol gazının türleri ticari propan, ağırlıklı olarak propan ve propilendir. Ticari propan bütan karışımları özel gereksinimleri karşılamak için üretilmektedirler. Bu karışımlar düşük ortam sıcaklığı ile karşılaşıldığında yakıt olarak kullanılmaktadır.

Dünyada tüketilen sıvılaştırılmış petrol gazının yaklaşık %60'ı doğalgaz kuyularından, %40'ı da ham petrolün rafine edilmesi sonucu elde edilir. Rafinerilerde ham petrolün yaklaşık %3'ünden LPG elde edilir. Doğalgazın ayrıştırılması, ham petrolün damıtılması ya da parçalanması ve yeniden biçimlendirilmesi (kraking ve reforming) sırasında elde edilir. Sonradan doğal sıcaklık ve basınç altında sıvılaştırılan başlıca propan ile bütan, izobütan, propilen ve daha az oranlarda etilen, etan, pentan içerebilen hidrokarbonlardan oluşan renksiz, kokusuz ve yoğunluğu havadan daha fazla olan yanıcı ve patlayıcı özelliği bulunan bir gaz ürünüdür.

Evlerde ve sanayide geniş çapta kullanılan bu gazlar çelik tüplere doldurulmuş olarak tüketime sunulur. Sıvılaştırılmış petrol gazları gerek dünyada gerekse ülkemizde, genel uygulama açısından tüplü, dökme ve oto gaz olarak kullanılmaktadır. Ayrıca LPG, konut, işyerleri ve sanayide ısınma, ısıtma, aydınlatma, metal kesme işlemlerinde, oto gaz ve itici gaz olarak kullanılmaktadır.

1.2.2.2.6. Benzin

19.yüzyıl sonlarına kadar otomobillerde kömür katranı destilatları ve ham petrolün destilasyonundan çıkan hafif fraksiyonlar kullanılmıştır. 20.yüzyıl başlarında basit destilasyonla bir miktar benzin üretimi başlamış, ancak otomotiv sanayisinin hızla gelişmesi benzine olan talebi de artırmıştır.

Benzin, petrol rafinasyonu ile elde edilen ürünlerden en önemlisidir. Kömür, şist yağı, katran kumu ve hatta atık plastikler ve kauçuktan benzin üreten çeşitli teknolojiler vardır. Ancak bu prosesler karmaşık ve çok pahalıdır (Beşergil, 2007). Petrol benzin üretiminde kullanılan temel ham maddedir. Benzin petrolden üretilen uçucu, yanıcı hidrokarbonların bir karışımıdır. Benzin neredeyse tüm hidrokarbonları içeren bir karışımdır. Küçük moleküller, az sayıda atom içerir ve düşük kaynama noktasına sahiptir. Büyük moleküller ise yapılarında daha fazla atom bulundurlar.

Tablo 9. Benzinin özellikleri (Potter, 1998).

Özellikler	
Yoğunluk (g/mL)	~0.73
C sayısı aralığı	C4 - C12
Destilasyon aralığı	Kaynama noktası aralığı (-1 °C) – (216 °C)
Bileşenler	Yüksek oranda benzen, toluen, etilbenzen, ksilen (BTEX), monoaromatikler ve dallanmış alkanlar. Düşük oranda alkan, alken, sikloalkan ve naftalen. Çok düşük oranda polinükleer aromatik hidrokarbonlar (PAH).
Kullanım alanı	Otomotiv ateşlemeli motorları.

Temel molekül yapısı, benzin içindeki hidrokarbonları farklı sayılarda karbon ve hidrojen atomlarının bileşiklerini içeren dört kimyasal seriye ayırır. Bunlar; parafinler, olefinler, sikloparafinler (naftenler) ve aromatikler olarak sınıflandırılır.

Parafinlerin genel formülü C_nH_{2n+2} şeklindedir. Parafin serilerinde karbon atomları zincir şeklinde birbirine bağlanmışlardır. Zincir düz ise bileşik n-pentan, eğer zincir dallanmış ise izo-pentan şeklinde tanımlanır.

Olefinler genel olarak C_nH_{2n} formülüne sahiptir ve parafinler gibi zincirli bileşiklerdir. Molekölün bir yerinde iki karbon atomu arasında çift bağ vardır. Moleküldeki çift bağ çok yüksek miktarda farklı karbon ve hidrojen atomları dizilimine olanak vermektedir. Bileşik isimlerinin sonuna –an eki yerine –en eki getirilir.

Naftenlerin formülü de olefinlerdeki gibi C_nH_{2n} şeklindedir. Fakat sikloparafinler de karbon atomları arasında çift bağ yerine bir veya birden fazla parafin zincirinin bağlanabileceği beş veya altı karbon atomlarından oluşan halka mevcuttur.

Aromatiklerin genel formülü C_nH_{2n-6} şeklindedir ve bu moleküller benzen halkası olarak bilinen karakteristik bir yapı içermektedirler. Bu halkada her bir karbon atomuna bağlı ve sadece bir tane hidrojen atomu bulunmaktadır. Aromatiklerin en bilinen üyeleri benzen, toluen ve ksilendir. Dört farklı ksilen ve sekiz tane C9 aromatikleri vardır, bunlardan birisi de 2. Dünya Savaşında uçak yakıtı olarak kullanılan kümendir (Topaç, 2008).

1.2.2.2.7. Nafta

Nafta ham petrolün atmosferik koşullarda damıtılması sırasında elde edilen renksiz, uçucu ve yanıcı sıvı hidrokarbon karışımlarına verilen addır. Nafta içerik olarak alifatik ve aromatik hidrokarbonların bir karışımı olduğundan kesin bir formülü yoktur. Naftanın bileşimi ham petrolün kaynağına ve elde edildiği prosese göre değişmektedir. Nafta C5 ve C17 karbon bileşiklerinin karışımıdır (Topaç, 2008).

35-90°C arasında alınanlara hafif, 80-200°C arasında alınanlara da ağır nafta denir (URL-3, 2015). Etilen ve propilen hafif naftanın buharla parçalanması sonucu elde edilir. Aromatikler ise ağır naftanın aromatikleştirilmesi ile elde edilir.

Çözücü petrol olarak isimlendirilen naftanın kimyasal bileşiminin kesin olarak belirlenmesi zordur. Çünkü nafta ile aynı kaynama aralığında yer alan parafin izomerlerine ek olarak; parafinler, naftenler, aromatikler ve olefinler de değişen oranlarda bulunmaktadır. Nafta; boya, baskı mürekkebi, cila üretimi, kauçuk, yapıştırıcı endüstrileri, yenebilen yağlar, parfümler ve uhuların üretiminde kullanılmaktadır. Nafta akaryakıt, petrokimya ve kimya sektöründe ana ham madde olarak kullanılır.

Halen dünyada üretilmekte olan etilenin %20 kadarı hafif naftadan, %10 kadarı da rafineri proses ünitelerinden çıkan gaz yağından elde edilmektedir. Diğer etilen ham maddeleri etan ve doğal gaz sıvılarıdır (Beşergil, 2007).

Nafta; kauçuk çözmek için, deri ve metallerin yağını gidermek için, kuru temizleme vasıtası olarak, vernik ve boyaları inceltmek için kullanılmaktadır. Kullanım alanlarındaki nafta ihtiyacını karşılamak için kaynama noktası aralıklarına göre sınıflar oluşturulmuştur.

1. 30°C-165°C sınırlarında destile edilen alkoller (ispirotolar)
2. Benzen, toluen, ksilen gibi saf aromatik bileşikler
3. Mineral ispiroto ve nafta olarak bilinen beyaz ispiroto (150°C-210°C)
4. Yüksek sıcaklıkta kaynayan petrol fraksiyonları (160°C-325°C) (Topaç, 2008).

1.2.2.2.8. Uçak Yakıtı

İnsanlığın uçaklarla ilk tanışması 20.yüzyılın başlarında büyük ve taşınabilir güç kaynakları olan iç yanmalı motorların keşfiyle başladı. İlk pistonlu uçak motorları benzinli otomobil motorlarına benzerdi ve yakıt olarak da oto benzini kullanılırdı. Daha sonraki yıllarda uçak motoru teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak uçak benzinleri de geliştirildi.

Her yeni uçak motoru teknolojisi daha farklı ve yüksek özellikler içeren yakıtta, her geliştirilmiş yakıtta yeni motor teknolojilerini araştırılmasına yol açtı. Sonuçta motor üreticiler ve kullanıcıların her geçen yıl daha kaliteli yakıt gereksinimi doğdu.

Uçak yakıtı ihtiyacı yüksek oktanlı benzin ve jet yakıtı üretiminin başlamasına yol açmıştır. Uçak yakıtı, uçak benzini ve jet yakıtı olarak da isimlendirilir. Kerosenin yüksek oranda bulunduğu kerosen tipi jet yakıtı ve benzin tipi jet yakıtı olmak üzere iki çeşidi vardır.

Tablo 10. Jet yakıtı JP-4, JP-5, JP-7 ve JP-8'in özellikleri (Potter, 1988).

Özellikler		
JP-4	Yoğunluk (g/mL)	~0.75
	C sayısı aralığı	C8-C14
	Destilasyon aralığı	Kaynama noktası aralığı 150-275°C
JP-5	Yoğunluk (g/mL)	~0.82
	C sayısı aralığı	C8-C16
	Destilasyon aralığı	Kaynama noktası aralığı 150-275 °C
JP-7	C sayısı aralığı	C10-C16
	Destilasyon aralığı	Kaynama noktası aralığı 150-275 °C
	Yoğunluk (g/mL)	~0.81
JP-8	C sayısı aralığı	C8-C16
	Destilasyon aralığı	Kaynama noktası aralığı 150-275 °C
(JP-4) içerik		Yüksek oranda n-alkan ve sikloalkanlar, düşük oranda BTEX ve monoaromatikler, çok düşük oranda PAHlar.
(JP-5, JP-7 ve JP-8) içerik		Yüksek oranda n-alkan ve sikloalkanlar, düşük oranda monoaromatikler ve dallanmış yapıli alkanlar, çok düşük oranda BTEX ve PAHlar.
Tümü için kullanım alanı		Uçak motoru.

1.2.2.2.9. Kerosen

Genellikle sanayide kullanılan bir petrol türevidir. Kerosen gaz yağı diye bilinen maddenin daha gelişmiş ve içerik olarak ayarlanmış olanıdır. Kerosen ham petrolün atmosferik basınç destilasyonu sırasında 150-228°C arasında ayrılan ve naftadan daha ağır bir fraksiyondur (Kutlu, 2007). 150°C'de kaynamaya başlar ve 300°C civarında ise %100 buharlaşan bir karışımdır. Kerosen renksiz, hafif kokulu ve -30°C'ye kadar akışkanlığını kaybetmeyen bir üründür. Çoğunluğu C6-C16 arasındaki parafinik hidrokarbonlar ile alkil benzen, naftalin gibi aromatiklerin bir karışımıdır. Kerosen yakıtının donma noktası -47°C ile -49°C olduğundan dolayı içerisinde su yoksa benzin tank manifoldlarından donmadan kolayca motora akar.

Alevlenme noktası 37-65°C olup 220°C’de kendiliğinden tutuşur (URL-3, 2015). Kerosen alevlenme derecesi altında herhangi bir ateş temasında yanmamasından ötürü uçak yakıtı olarak kullanılmaktadır. Jet yakıtı, aydınlatma yakıtı ve bazı araçlarda motor yakıtı olarak kullanılır. Ayrıca sanayide pas giderici, Japon sobalarında yakıt, yapısı itibarı ile benzinden daha kalın olan bu yakıtın yanıcılığı benzinden daha fazla olduğu için benzindeki oktanı yükseltmek içinde kullanılır. Aydınlatma ve ısıtma için kullanılacaksa; ısı değeri yüksek, kükürt oranı %0.2’ den düşük, büyük alev ve az is oluşumu, parlak ve iyi ışık vermesi istenir.

1.2.2.2.10. Fuel Oil

Petrolde uçucu bileşenler ayrıldıktan sonra kalan kısma fuel oil denilmektedir. Ham petrolün destilasyon ürünlerinin değişik esaslara göre karıştırılması sonucu farklı viskozite değerlerinde ağır yakıt veya fuel oil denilen yakıt elde edilir. 280°C’ye kadar olan destilasyon ürünüdür, özgül ağırlığı 0.89-0.98 arasındadır (Bilgen, 2000). Endüstriyel amaçlarla kullanılan fuel oil, ham petrolden benzin, gaz yağı, gaz oil ve hafif fuel oil ayrıldıktan sonra kalan ağır fuel oildir. Fuel oil koyu renkte, az akışkan bir petrol ürünüdür. Fuel oilin büyük bir kısmını hidrokarbonlar oluşturmaktadır. Destilasyon sonucu elde edilen fuel oillerin viskoziteleri farklı olmalarına rağmen elementel analizleri aynıdır. Ağır fuel oillerde miktarı %0.10-0.50 değerleri arasında değişen kül bulunmaktadır (URL-2, 2015).

Fuel oil iki kısımdan oluşur;

1. Sıvı ortam (Malten)
2. Sıvı ortam içinde koloidal olarak dağılmış katı parçacıklar (Asfalten)

Asfaltenler, yapı itibarı ile bir soğana benzemektedir. Ortada C/H oranı çok yüksek olan ve yaklaşık saf karbona yakın bir nüve vardır. Bu nüvenin etrafında ise dışa doğru C/H oranı gittikçe azalan tabakalar vardır. Bunların en dışındaki tabakanın C/H oranı sıvı ortam olan maltenin C/H oranına eşittir. Asfaltenlerin bünyesinde bir miktar kükürt, oksijen ve azot vardır. Ortadaki özütün etrafında bulunan tabakalar daha çok aromatik yapıdadırlar.

Asfaltlenler, malten içinde süspansiyon halinde bulunduğu için yüzey gerilimleri arasında bir denge vardır. Herhangi bir nedenle bu denge bozulursa süspansiyon hal bozulur ve asfaltlen zerrecikleri birbirleri ile birleşerek dibe çökerler. Bu durum özellikle malten fazının C/F oranının düşmesi halinde belirgin olarak kendisini gösterir.

Bu çözeltinin benzen içinde çözülebilen kısmına asfaltlen denir. Çözölmeyen kısmı da karbon temelli olmayan toz, pas vb. yabancı maddelerdir. Ağır yakıtın n-heptan içinde çözülebilen kısmına da malten denir. Fuel oili inceltme amacı ile pentan veya heptan ilave edilmesi veya fuel oilin biraz fazlaca ısıtılması hallerinde malten ve asfaltlen arasındaki yüzey gerilim dengesi bozulur, çamurlaşma olayı meydana gelir. Eğer yakıtta tam bir kararlılık varsa bu tür olaylar nedeni ile denge bozulmaz.



Şekil 5. Fuel oil görüntüsü (URL-2, 2015).

Elektrik, ısı ya da buhar sistemlerinde kullanılabilen fuel oil, her türlü endüstriyel fabrika, tesis ve binalarda tercih edilmektedir. Kolay pompalanır, yanar ve tasarruf sağlar. Genellikle ısıtma amacı veya endüstride buhar elde etmekte kullanılan fuel oilin ısı değerlerinin yüksek olması istenir. Fuel oilin önemli özellikleri öz ağırlık (spesifik gravite), ısıtma değeri, viskozite, alevlenme ve yanma noktası, kükürt, kül ve donma noktasıdır. Ham petrolün içerisinde kükürt serbest ya da bileşik halde bulunur. Ham petrolün içerdiği kükürt daha ziyade ağır hidrokarbonlarla bileşik yaptığı için, damıtma neticesinde kükürdün önemli bir kısmı ağır fuel oil içerisinde kalır. Fuel oildeki kükürt yanabilen ve yanmayan kükürt olmak üzere ikiye ayrılır. Yanmayan kükürtler yakıtta sülfat ve sülfat halinde bulunan kükürtlerdir.

Yanabilen kükürtleri ise üçe ayırabiliriz; elementel kükürt, pritik kükürtler (H_2S , Na_2S , ZnS , FeS gibi) ve organik sülfidlerdir (Merkaptanlar, sülfürler, disülfürler, sülfonlar, sülfonik asitler, alkil sülfatlar, tiyofen, halkalı sülfürler). Fuel oil içerisinde bulunan kükürt fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle giderilmektedir.

1.2.2.2.11. Motorin

Ham petrolün damıtılması sırasında 200-300°C kaynama aralığında alınan üçüncü ana ürün motorindir. $C_{15}H_{32}$ - $C_{18}H_{38}$ genel formüllü hidrokarbonlardan oluşur (URL-2, 2015). Motorin çok farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri bulunan alabildiğine yüksek sayıda (binin üstünde) hidrokarbonun karışımından oluşur.

Motorin dizel motorlarda kullanılır, mazot olarak bilinir. Motorinin en önemli iki özelliği akışkan ve yanıcı olmasıdır. Benzine göre oldukça yağlıdır ve kokuları farklıdır. Motorin benzinden daha ağırdır, benzine göre çok daha yavaş buharlaşır. Benzinden daha fazla sayıda karbona sahip ve karbon bağlarının yapısı daha uzundur. Kaynama noktası suyunkinden çok daha yüksektir. Motorin daha az rafineri işlemi ile elde edilir ve benzinden daha ucuzdur. Motorinin hassas özelliklerinden biri olan setan sayısı, motorinin kendi kendine tutuşma yatkınlığını gösterir. Başka bir deyişle çok düşük bir setan sayısı, çok uzun bir kendi kendine tutuşma süresi, geç, eksik ve şiddetli bir yanmaya yol açar. Bu olayda yakıt tüketiminin artmasına ve havayı kirleten gazların emisyonuna sebep olur.



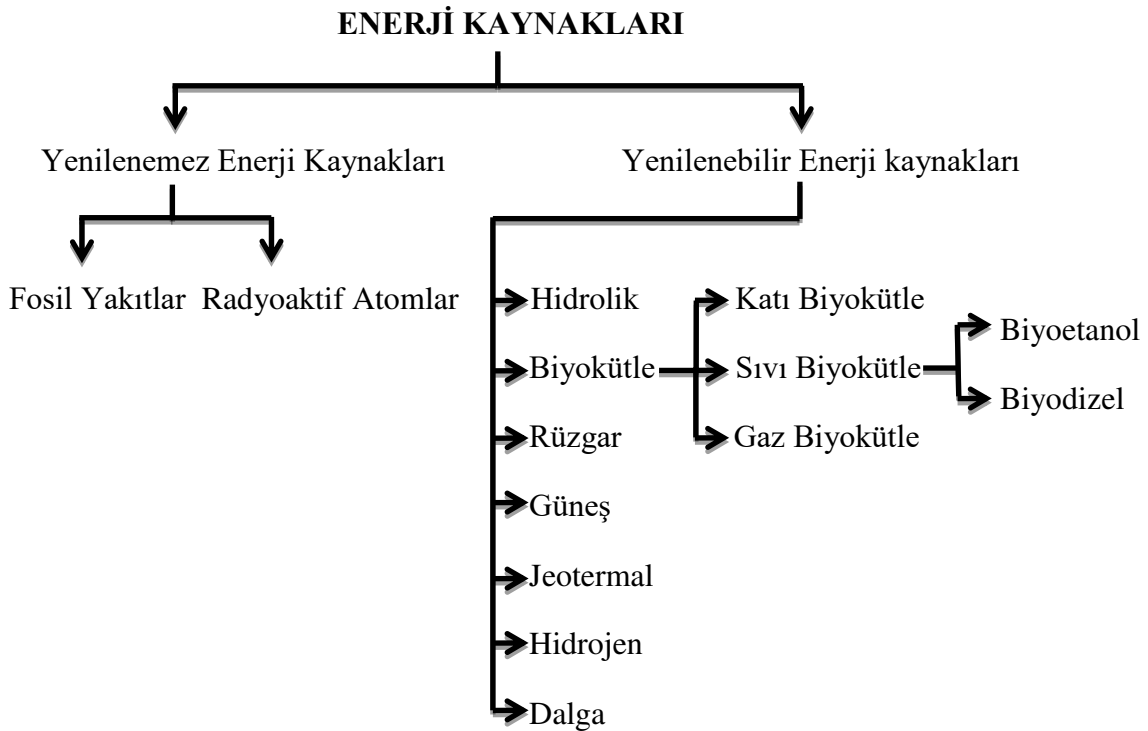
Şekil 6. Motorin görüntüsü (URL-4, 2016).

Dizel yakıtlar daha fazla güce ihtiyaç duyan araçlarda ve makinelerde kullanılır. Dizel yakıtlar; gemileri, otobüsleri, trenleri, vinçleri, zirai araçları, jeneratörleri hareket ettiren motorlarda kullanılır. Çevre açısından dizelin olumlu ve olumsuz yanları vardır.

Dizel yakıt küresel ısınmaya neden olmaz, karbon monoksit, hidrokarbon ve karbon dioksit emisyonu oldukça azdır. Olumsuz yanları ise dizel yakıt çok miktarda nitrojen bileşimi ve partikül madde oluşturarak çevreye yayılır. Bu maddeler asit yağmurlarına, hava kirliliğine ve kötü sağlık koşullarına sebep olmaktadır.

1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji çeşitlerinin çoğunun temel kaynağı güneştir. Yenilenebilir enerji çeşitleri doğrudan ya da enerjinin başka bir şekline dönüştürülerek kullanılabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ucuz olması ve çevreyi kirliletmeyerek zarar vermemesi kullanımı açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır (Doğan, 2010).



Şekil 7. Enerji kaynakları (Ayyıldız, 2014).

Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneşin ısıtım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Dünyadaki madde ve enerji akışları güneş enerjisi sayesinde mümkün olabilmektedir. Rüzgâr, deniz dalgası, okyanusta sıcaklık farkı ve biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş biçimleridir. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde rol oynayarak akarsu gücünü yaratmaktadır. Doğal enerji çeşitlerinden pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmaktadır. Avantajlarının yanında kullanımı için çok büyük alanlara gereksinim duyulması da dezavantajları arasında sayılabilir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde yoğunlaşarak birikmiş ısıtımın oluşturduğu ve bu ısıtımın meteorit kökenli sularda yüzeye taşınmasıyla oluşan sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar, jeotermal enerjidir (Koçak, 2001). Jeotermal enerji hem düşük karbondioksit emisyon oranı ile hava kirliliği yaratmaması ve hem de yenilenebilir olması nedeniyle önemli bir alternatif enerji kaynağıdır. Güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında jeotermal enerji kesintisiz olmasından dolayı avantajlı bir konuma sahiptir (Arslan, Darıcı ve Karahan, 2001).

Rüzgâr enerjisi dünyada kullanım oranı en çok artış gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından biri durumundadır. Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi CO₂ emisyonu yaratmayan, asit yağmurlarına ve atmosferik ısınmaya yol açmayan, fosil yakıt kullanımından tasarruf sağlayan, radyoaktif etkisi olmayan bir yöntemdir. Sürekli ve sonsuz bir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi teknolojik gelişimi hızlı, döviz kazandırıcı özelliğe sahip, dışa bağımlılığı olmayan, kısa sürede devreye alınabildiği gibi yine kısa sürede sökülebilen bir güç kaynağıdır (Koçaslan, 2006).

Hidrolik enerji suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sonucu elde edilen bir enerji türüdür. Alternatif bir kaynak oluşu, çevreye etkisinin en alt düzeylerde olması, herhangi bir çevre kirliliğine neden olmaması, işletme bakım masraflarının az olması, ulusal bir kaynak olması ve güvenilir bir enerji arzı sağlayan bir kaynak oluşu ile hidroelektrik enerjisi gün geçtikçe önem kazanmaktadır (Çukurçayır ve Sağır, 2008). Başka bir ifade ile suyun akış gücünden faydalanmak suretiyle jeneratöre hareket kazandırmak esasına dayanarak elektrik üretme işlemine hidrolik enerjiden faydalanarak enerji üretimi denilmektedir. Bu şekilde çalışan enerji santrallerine de hidroelektrik enerji santralleri adı verilmektedir (Doğan, 2010).

Biyokütle, yaşayan ve yeni ölmüş biyolojik maddeler anlamına gelmektedir. Bu maddeler ekinler, ağaçlar, algler, tarımsal veya ormancılık kalıntılarından, atık sulardan ve şehir atıklarından oluşmaktadır. Biyokütle enerjisi elektrik ve diğer enerji şekillerinin üretiminde kullanılan yenilenebilen önemli bir kaynaktır. Ayrıca biyokütleden, fiziksel süreçler ve dönüşüm süreçler ile yakıt elde edilmektedir. Dönüşüm süreçleri ve ürünlerine örnek olarak biyogaz, hidrojen, biyoetanol, pirolitik sıvı, gaz yakıt, biyokömür, biyomotorin ve biyodizel gibi biyoyakıtlar verilebilir (Doğan, 2010). Dünyada giderek artan enerji açığı ve çevresel zararların etkilerinin indirgenmesi amacı ile biyokütle enerjisine verilen önem artmıştır.

Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısıнын yakıtı hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. Hidrojen, bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. 1 kg hidrojen 2.1 kg doğalgaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda kullanımı temiz ve kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde atmosfere atılan ürün sadece su ve su buharı olmaktadır. Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama %33 daha verimli bir yakıttır.

Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında su buharı dışında çevreyi kirletici ve sera etkisini artırıcı hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir. Araştırmalar, mevcut koşullarda hidrojenin diğer yakıtlardan yaklaşık üç kat pahalı olduğunu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanımının hidrojen üretiminde maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olacağını göstermektedir. Bununla birlikte günlük veya mevsimlik periyotlarda oluşan ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması günümüz içinde geçerli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu tarzda depolanan enerjinin yaygın olarak kullanılabilmesi örneğin toplu taşıma amaçları için yakıt piline dayalı otomotiv teknolojilerinin geliştirilmesine bağlıdır (URL-5, 2015).

Denizlerde rüzgârın etkisiyle oluşan dalgalardan enerji elde edilmektedir. Dalga enerjisi suya yerleştirilen tribünlerle veya dalgaların kıyıya çarptıkları yerlerde kullanılan merceklerle elde edilir. Bütün dünyada dalgalardan 200 milyon ton taş kömürünün vereceği enerjiyi karşılayacak enerji elde edilebilir. Okyanusların kıyı şeridi yaklaşık 100.000 kilometredir. Bu kıyı şeridinin ortalama potansiyel gücü 4 milyar kWh'ı bulmaktadır. Bu da dünyadaki bütün su gücünden 7 kat fazladır (URL-6, 2015).

1.3.1. Biyoyakıtlar

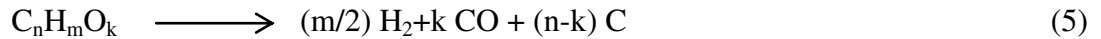
Enerji kaynakları ikiye ayrılmaktadır. İlki meydana gelişleri çok uzun yıllar alan petrol, kömür, doğalgaz gibi klasik enerji kaynakları, ağır radyoaktif atomların oluşturduğu yenilenemez enerji kaynaklarıdır. İkincisi ise meydana gelişleri yenilenemez enerji kaynaklarına kıyasla daha kısa bir zaman sürecinde gerçekleşen ve güneş, rüzgar, dalga, biyokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen gibi alt sınıflamalarından oluşan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyoyakıtlar, kimyasal içeriği ve üretim sürecinde kullanılan ham madde tipine göre farklılık arz eder. Biyoyakıt çeşitleri arasında biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetileter, biyoetiltersiyerbutileter ve çeşitli bitkisel yağlar bulunmakla birlikte bunların günümüzde en yaygın ve popüler olanları biyoetanol ve biyodizeldir (Ar, 2007).

1.3.1.1. Piroliz

Piroliz, vakumda ve inert ortamda ya da atmosferde organik içerikli maddelerin ısıl bozunması anlamına gelmektedir. Katı atıkların pirolizi esnasında seri ve paralel olmak üzere çok çeşitli ve oldukça kompleks reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Bu karmaşık tepkimeler, biyokütlenin ana ürünlere ayrılması ya da rafinasyonu olarak da ifade edilebilir (Iwasaki, 2003).

Ana piroliz reaksiyonu,



Kısmi reaksiyonlar,



Tablo 11. Piroliz ve yanma arasındaki farklar (Ayyıldız, 2014).

Yanma	Piroliz
O ₂ 'li reaksiyonla termik parçalanma	O ₂ 'siz reaksiyonla termik parçalanma
Yanma sıcaklığı 800°C - 1200°C	Piroliz sıcaklığı 500°C - 1000°C
Ürünler	
Katı oksitlenmiş maddeler	Katı: indirgenmiş katı
Oksitlenmiş maddeler(Kül + Curuf)	Kömür
Kalıntıları	
Sıvı: su	Sıvı: su, hidrokarbonlar
Gaz : CO ₂ , SO _x , NO _x , vs.	Gaz: H, CO ₂ , CO, CH ₄ , etan, propan,
Ekzotermik reaksiyon	Endotermik reaksiyon
Çöpün bileşiminin değişimine az duyarlı	Çöpün bileşiminin değişimine duyarlı

Pirolizi etkileyen başlıca faktörler; sıcaklık, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve piroliz ortamıdır. Piroliz sıcaklığının etkisiyle başlar ve devam eder. Genel olarak artan sıcaklık ile piroliz dönüşümü artar. Uygulanan piroliz sıcaklığına göre ürün verimleri değiştiği gibi bileşimleri değişmektedir (Eken, 2007).

İki tür piroliz vardır; hızlı ve yavaş ısıtma hızı olmak üzere ikiye ayrılır. Hızlı piroliz düşük kalma süresi ve yüksek ısıtma hızında gerçekleşirken, yavaş piroliz de ise kalma süresi uzundur. Hızlı pirolizin avantajı bozunmanın ve bozunma ürünlerinin kontrolü açısından olup yavaş ısıtma koşullarında bozunma ürünlerinin kontrolü güçtür (Erşahan ve Sara, 1996).

Piroliz de genellikle artan parçacık büyüklüğü ile ısı ve kütle aktarımına karşı dirençler artar bu da ürünlerin verimini ve bileşimlerini etkileyebilir. Piroliz inert ortamda yapılan bir işlemdir. İnert ortam oluşan uçucuların ortamdaki uzaklaştırılmasını ve uçucuların ikincil bozunma reaksiyonlarına girmesini engeller ve sıvı ürün veriminin artmasını sağlar (Eken, 2007).

Pirolizden elde edilen sıvı ürünler birincil ve ikincil ürünler olmak üzere ikiye ayrılır (Gerçel, 1997). Biyokütlenin pirolizinden elde edilen birincil ürünler doğrudan doğruya kullanılabilirliği gibi kimyasal işlemler (saflaştırma) uygulanıp ikincil ürünlere dönüştürülerek de kullanılabilirler. Elde edilen ürünler yüksek kalitede ve değerinde yakıt ve kimyasal bileşiklerdir (Koruyucu, 2003).

1.3.1.1.1. Biyoetanol

Biyoetanol, üretim sürecinde ham madde olarak arpa, buğday, mısır, şeker pancarı, şeker kamışı, patates, maniok ve odunsular gibi kimyasal içeriğinde nişasta, şeker ve selüloz içeren bitkilerin kullanıldığı ve benzinle çalışan taşıt motorlarında yakıt olarak kullanılabilen bir biyoyakıt çeşididir. Ülkeler biyoetanol üretimlerinde arazi ve iklim koşullarına göre farklı ham maddeleri kullanmakla birlikte, dünyada en çok kullanılan biyoetanol ham maddesi şeker kamışı ve mısırdır (Dillon vd, 2008).

1.3.1.1.2. Biyodizel

Biyodizel, ham maddesi kanola, ayçiçeği, soya, aspir, pamuk, jatrofa, palm gibi yağlı tohumlu bitkilerden elde edilen bitkisel yağlar ile hayvansal yağların yanı sıra bitkisel hayvansal atık yağlar olan ve motorinle çalışan araçlarda yakıt maddesi olarak kullanılabilen bir yakıt çeşittir.

1.4. Termodinamik

Termodinamik; eski yunanca thermos (ısı) ve dinamik (enerji) kelimelerin bir araya gelmesiyle oluşan, dilimize ısı devrimi olarak tercüme edilebilen, ekserji, entropi ve enerji kavramlarının açıklanmasında önemli rolü olan bir kavramdır. Hemen hemen mühendislik dallarının hepsinde uygulamasın olan, kimyasal reaksiyonların ısı alışverişini inceleyen bir bilim dalıdır.

18.yüzyılın başlarında sanayi devrimi ile beraber artan enerji ihtiyacı, bu ihtiyacın insan ve hayvan gücüyle karşılanamaması yeni buluşların üretime olan etkisini artırmıştır. Kuşkusuz bunların en önemlisi buhar gücüyle çalışan makinelerin geliştirilmesidir.

1967 yılında Thomas Savery ve 1712 yılında Thomas Newcomen tarafından yapılan buhar makineleri James Watt tarafından 1765-1766 yıllarında yaptığı çalışmalar neticesinde sanayide kullanacak biçime geliştirilmiş ve termodinamik bilimi böylece ortaya çıkmıştır. Enerji dönüşümlerinin var olduğu, enerji aktarımının olduğu sistemlerde termodinamik önemli bir rol oynar.

Termodinamik karşılıklı enerji alışverişlerini oldukça detaylı inceleyen, bir sistemde var olan farklı enerji türlerinin birbiriyle olan ilişkisini inceleyen bir bilim dalıdır. Termodinamiğin ilkeleri doğadaki birçok olaya uygulanabilmektedir. Termodinamik denge halinde olan sistemlerle ilgili olmakla beraber bir değişim meydana gelip gelmeyeceği konusunda bilgi verir ancak oluşum hızı ve mekanizması hakkında bilgi vermez.

Termodinamikte evren; sistem ve sistemin çevresi olmak üzere iki kısımda göz önüne alınır. Sistem, evrenin bir parçası, bizim ilgilendiğimiz kısımdır. Sistemin çevresi ise bunun dışında kalan kısımdır. Sistemi ifade edebilmemiz için sistem sınırlarının bilinmesi gerekir. Sistemi çevreden ayıran sınıra sistem sınırı denilmektedir. Çevre sisteme etki eden veya etmeyen sistemden oluşur. Sistem ile çevresi arasındaki etkileşimlerin tümü sınırlarda meydana geldiği için sınırların özelliklerinin bilinmesi önemlidir (Gürüz, 1986). Sistem çevresi ile kütle alışverişinde bulunmuyorsa sınırları geçirimsizdir, kapalı sistem veya kontrol kütle olarak adlandırılır. Sistemin kütlesi sabittir. Sistem çevresiyle kütle alışverişinde bulunuyorsa sınırları geçirgendir, açık sistem veya kontrol hacim olarak adlandırılır. Bazı sınırlardan belirli maddeler geçebilir, yarı geçirgen sınır olarak adlandırılrsa dahi açık sistem olarak değerlendirilir. Isı aktarımına izin veren sınırlara diatermal, ısı aktarımına izin vermeyen sınırlara adyabatik sınır denilmektedir.

Bir sistemin çevresi ile olan enerji alışverişini inceleyebilmek için sistemin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar; kütle, hacim, basınç, sıcaklık gibi ölçülebilen ve iç enerji, entropi gibi direk ölçülemeyen, kavramsal özelliklerdir. Bir sistemin herhangi bir özelliğinden bahsedebilmek için sistemin dengede olması gerekir. Sistemin sıcaklığı bütün sistem için geçerli ise ve zamanla değişmiyorsa sistem ısı dengededir. Yerçekiminin etkisi ihmal edildiğinde, sistemin basıncı sistemin her noktasında aynı ise ve zamanla değişmiyorsa sistem mekanik dengededir. Kimyasal bileşimi sistemin her noktasında aynı ise ve zamanla değişmiyorsa, sistem kimyasal dengededir. Sistem bütün denge şartlarını sağlıyorsa yani hem ısı dengede hem mekanik dengede hem de kimyasal dengede ise sistem termodinamik dengededir (Yüncü, 2010).

Termodinamik dengede olan sistemde, sistemin özellikleri zamanla değişmez. Termodinamik özelliklerin tümü sistemin her noktasında aynıdır. Sistem içinde ve çevresinde her türlü madde, iş, ısı alışverişi ve kimyasal reaksiyonların hızı sıfırdır.

Termodinamiğin dört temel yasası vardır. Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumu yasasıdır. Enerjinin yok edilemeyeceğini, bir türden diğer enerji biçimine dönüşebileceğini ifade eder. Termodinamiğin ikinci yasası ısıнын tamamını enerjiye dönüştürecek bir sistemin olmadığını ifade eder ve enerji dönüşümlerine kısıtlama getirir. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasası doğrudan enerji ile ilgilidir. Termodinamiğin üçüncü yasası element ya da her türden bileşiğin saf ve hatasız kristallerinin entropilerinin sıfır olmasıdır. Termodinamiğin üçüncü kanunu saf ve kristal halindeki belli maddelere uygulanır. Termodinamiğin sıfırıncı yasası ise iki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısı dengede olmaları durumunda kendi aralarında da ısı dengede olacaklarını belirtir. Termodinamiğin diğer yasaları ile kanıtlanamadığından ayrı bir yasa olarak ele alınmıştır. Sıcaklık sıfırıncı, iç enerji birinci, entropi de ikinci kanunun bir sonucu olarak ortaya çıkmış kavramsal termodinamik bir özelliktir.

1.4.1. Termodinamiğin Sıfırıncı Yasası

Birbiriyle temas halinde bulunan aynı sıcaklıktaki cisimlerin birbirleriyle enerji alışverişinde bulunmayacağını, cisimlerin ısı dengede olduğunu ifade eder. Isı yüksek sıcaklıktaki bir cisimden daha düşük sıcaklıktaki cisme enerji akışı olarak tanımlanır. Isıl denge cisimler arasında ısı alışverişin olmamasıdır. Isıl temas ise farklı sıcaklıktaki iki cismin enerji alışverişinde bulunmasıdır. Buna termodinamiğin sıfırıncı yasası denilmektedir. 1931 yılında R.H. Fowler tarafından ortaya konulmuş temel bir fizik ilkesidir.

1.4.2. Termodinamiğin Birinci Yasası

Enerjinin yok edilemez veya yokken var edilemez, ancak değişik fiziksel ve kimyasal işlemlerle bir enerji biçiminden diğer enerji biçimine dönüşebileceğini ifade eder. Bir sistemin enerjisindeki değişme sistem tarafından yapılan işlem, sistem tarafından alınan ya da verilen ısıya eşittir.

Isı Q , iş W ile gösterildiğinde sistem ve çevre arasındaki etkileşimde toplam enerji değişimi ΔE 'nin matematik ifadesi şöyle olur:

$$\Delta E = Q + W \quad (12)$$

Termodinamiğin birinci yasası şöyle ifade edilebilir; kapalı bir sistemin belirli bir durumu arasında gerçekleşebilecek tüm adyabatik durum değişimleri sırasında yapılan net iş, sisteme veya durum değişimlerine bağlı olmaksızın aynıdır. Bir ısı makinesi veya bir sistem başlangıçta enerji alır. Sonrasında iş ve atık ısı olarak enerji çıkışı oluşur. Termodinamiğin birinci yasasına göre bir sisteme giren enerjinin miktarı sistemden iş ve atık ısı olarak çıkan toplam enerji miktarına eşittir.

İç enerji; bir maddenin taneciklerinin öteleme, dönme, titreşim gibi hareketlerinden kaynaklanan kinetik enerji ile fiziksel ya da kimyasal bağları veya nükleonları bir arada tutan kuvvet gibi etkileşim enerjilerinin toplamını ifade eden kavramdır (URL-7, 2015).

İç enerjideki değişim;

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (13)$$

ile ifade edilir.

Herhangi bir sistemdeki toplam iç enerji, sisteme eklenen ya da sistemden çıkan ısı ve iş ile alakalıdır. Yani hiçbir iş yoktan var edilemez veya var olandan yok edilemez. Bunu formül ile gösterirsek;

$$\Delta U = Q - W \quad (14)$$

ile tanımlanır.

Termodinamikte ısı sıcaklık farkı nedeniyle kütle ile çevresi arasındaki enerji alışverişi olarak tanımlanır. Termodinamikte iş, bir sisteme çevresinden veya o sistemden çevresine sıcaklık farkı dışında herhangi bir itici kuvvetin varlığından dolayı aktarılan enerji olarak tanımlanır. Bir enerji aktarımının iş olarak tanımlanabilmesi için sistemin sınırlarını geçmesi gereklidir. Sistemin içinde sıcaklık farkının dışında bir itici kuvvetten dolayı meydana gelen enerji aktarımı iş olarak tanımlanamaz (Gürüz, 1986). Bir sistemin iş yapabilme kapasitesine enerji denilir. Enerjinin bir sistemden diğerine transfer edilmesi iş ve ısı oluşumuyla sağlanır.

İki sistem arasında ısıl temas sonucu bir sıcaklık farkı oluşuyorsa, enerji bir sistemden diğerine ısı şeklinde aktarılır. Açık sistemler arasında da sistemden sisteme madde taşınmasıyla ısı transferi yapılabilir. Ancak bir sistemin ısısı veya işi yerine bir sistemin enerjisinden bahsedilir (URL-8, 2015).

Enerji diğer türlerine dönüşebilme özelliği açısından ele alabiliriz, bunlar;

1. Diğer enerji türlerine sınırsız veya tamamen dönüştürülebilen enerji (mekanik enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji, kinetik enerji)
2. Diğer enerji türlerine sınırlı yani kısmen dönüştürülebilen enerji (iç enerji, ısı enerjisi)
3. Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkânsız enerjidir (çevrenin iç enerjisi).

Enerji türlerini, kimyasal enerji, ısı enerjisi, mekanik enerji, potansiyel enerji, kinetik enerji, elektrik enerjisi, manyetik enerji, nükleer enerji şeklinde sıralayabiliriz. Bir sistemin toplam enerjisi, sahip olduğu tüm makroskobik ve mikroskobik türdeki enerjilerin toplamıdır (Çengel, 1996). Cisimlerin sahip olduğu enerji ölçülemez, sadece birinin diğerine göre enerji farkı ölçülebilir.

$$E_{\text{sistem}} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (15)$$

Maddenin yapısında depoladığı her türden enerjilerin toplamı olan entalpi, H ile simgelenir (URL-9, 2015). Entalpi sabit basınçta meydana gelen işlemlerdeki çevre ile alınıp verilmiş ısı miktarına eşittir.

$$H = U + PV \quad (16)$$

Entalpi, iç enerji, hacim ve basıncın toplamı olduğu ve bu üç özellikte bir hal fonksiyonu olduğu için, bir hal fonksiyonudur (Gürüz, 1986).

1.4.3. Termodinamiğin İkinci Yasası

Termodinamiğin ikinci yasasının temelleri Kelvin, Planck ve Clausius' un yaptıkları çalışmalar sonucunda geliştirdikleri ifadeler ile atılmıştır (Çengel, 1996). Kelvin yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan alınan ısıнын tamamının işe dönüştürülemeyeceğini belirtmiştir.

Planck da bu açıklamayı destekleyici olarak, bir kaynaktan alınan ısıya tamamını işe dönüştürebilecek bir sistemin mümkün olmadığını belirtmiştir (Kutlu, 2007). Termodinamiğin birinci yasası ısı ve işi birbirine %100 verimle dönüştürmenin mümkün olduğunu ifade eder. İş tamamen ısıya dönüştürmek mümkünken, ısıyı tamamen işe dönüştürmek mümkün değildir.

Termodinamiğin ikinci kanunu verilen bir termodinamik durumundaki sistemin, verilen başka bir termodinamik duruma daha önceden belirlenen süreçle durum değiştirip değiştirmeyeceğini belirler (Yüncü, 2010). Değişimin yönü doğal kabul edilen dönüşüm yönüdür. Daha açık ifade etmek gerekirse tabiattaki birçok olayı örnek verebiliriz. Nehirlerin aşağıdan yukarı doğru kendiliğinden akması doğal olan akma yönüdür. Bunun tersi yani nehrin deniz seviyesinden yukarılara akması söz konusu olamaz (Bilgen, 2000).

Termodinamiğin ikinci kanunu kendiliğinden olma olayını tarif etmek için entropi ve serbest enerji kavramlarını getirmiştir. Kendiliğinden olma olayları karışıklığın, düzensizliğin karmaşanın en yüksek olduğu yöne doğru ilerler. Evrenin düzensizliği daima artmaktadır. İşte bu düzensizlik, karışıklık miktarı entropi olarak tarif edilmektedir. Entropi, bir sistemdeki moleküler düzensizliğin ölçüsüdür, S ile gösterilir. Entropi enerji kaynağının kalitesini değerlendirmek için kullanılabilir. Bir termodinamik sistemden başka sistemlere iş şeklinde aktarılması imkânsız enerji miktarıdır. Entropi geçişi yalnızca ısı ve kütle geçişi ile olmaktadır. Sıcaklık terimi mutlak sıcaklığı temsil ettiği için her zaman pozitifdir. Entropi geçişi çevreden sisteme doğru olduğunda pozitif, sistemden çevreye olduğunda negatiftir. Entropi üretilir fakat yok edilmez. Sistemlerdeki düzensizlik arttıkça entropi de artar. Bu durumda faydalı yani iş yapabilir enerji miktarını azaltır, faydasız enerji yani entropiyi artırır.

Tablo 12. Entropinin artışına ve azalışına neden olan olaylar

Entropinin artışına sebep olan olaylar	Entropinin azaldığı olaylar
Sıcaklık artışı	Sıcaklık azalışı
Bir katının erimesi	Bir sıvının soğutulması
Bir sıvının buharlaşması	Bir gazın yoğunlaştırılması
Aynı fazda iki maddenin karıştırılması	Bir gazı daha küçük hacme koyma
Bir sıvıda bir gaz veya katının çözünmesi	Bir reaksiyonda gaz mol sayısının azalması
Bir gazın genişlemesi	Toplam mol, atom, iyon sayısının azalması

Belirli bir ilk halden, tersinmez bir prosesle belirli bir ikinci hale değişen bir sistemin entropisinde meydana gelen değişiklik;

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q_{\text{ter}}}{T} \quad (17)$$

olarak yazılır.

Enerji miktarı her zaman korunur ancak niteliği azalır, yani entropi artışı, enerjinin diğer bir enerji biçimine dönüşebilen miktarını etkiler. Enerjinin diğer bir enerjiye dönüştürülebilir kısmına ekserji, diğer enerji türlerine dönüştürülemeyen kısmına ise anerji bir başka deyişle kullanılamaz enerji denilir. Ekserji, sistem çevre ile termodinamik dengeye ulaştığında elde edilebilecek maksimum işi ifade eder.

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (18)$$

Tablo 13. Entropi ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması (Ayyıldız, 2014).

Entropi	Ekserji
Enerjinin ne kadar tersinmezlik ve belirsizlik ürettiğini açıklar.	Enerjiyle neler yapılabildiğini açıklar.
Enerjinin ne olduğu hakkında bilgi verir.	Enerjiyle bir şey yapmanın potansiyeli hakkındadır.
Bir proseste ki tersinmezliği açıklar.	Durumun, dengenin ne kadar dışında olduğunu, bu durumla yararlı bir şey yapılıp yapılamayacağını belirtir.
Entropi artışı, enerji dönüşümü sırasında ortaya çıkan belirsizliktir.	Ekserji, enerji dönüşümü sırasında, elde edilen enerji hakkında bilgi verir.

1.4.4. Termodinamiğin Üçüncü Yasası

Bu kanun 1906 Wolther Nerst tarafından ortaya atılmıştır. Ona göre mutlak sıfır noktası, maksimum düzensizlikten çok düzensizliğin yokluğu yani mükemmel bir düzen halidir. Termodinamiğin üçüncü yasasına göre, element ya da her türden bileşiğin saf ve hatasız kristallerinin mutlak sıfırdaki mutlak entropileri sıfırdır.

Termodinamiğin üçüncü kanunu diğer kanunlardaki genellemelerden yoksundur. Çünkü sadece saf ve kristal halindeki belli bir sınıf maddeye uygulanır, diğerlerine uygulanmaz (Bilgen, 2000).

1.5. Ekserji

Ekserji kelimesi Yunanca dış anlamına gelen ex, kuvvet ve iş anlamına gelen ergon kelimelerinden türetilmiştir. Enerji tasarrufunun günden güne önem kazanmasıyla özellikle ekserji kavramı önem kazanmıştır. Ekserji, enerjinin başka bir enerjiye tamamen dönüşen kısmına denir ve enerji kaynaklarının daha verimli şekilde kullanılmasında kullanılır ve termodinamiğin ikinci kanununa dayanır. Ekserjinin tanımı ilk olarak 1889'da Georges Gouy tarafından sabit ve belli dış şartlarda belirlenmemiş bir halden diğer bir hale geçerken elde edilen maksimum iş, kullanılabilir enerji olarak tanımlanmıştır. Ekserji tanımlaması ilk olarak Rant tarafından tanımlanmıştır (Kutlu, 2007).

Sistem dengeye gelinceye kadar elde edilebilecek maksimum yararlı işe ekserji denir. Başka bir deyişle kullanılabilir enerji, yani enerjinin faydalı kısmıdır. Ekserji sistemde her zaman mevcuttur, negatif olamaz, korunamaz fakat dönüşümlerle ve sistemdeki tersinmezlikler nedeniyle yok edilir veya tüketilir. Sistemde korunamayan ekserji harcadıktan sonra tekrardan kazanılamaz. Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale yani ölü hale getirilirse elde edilir. Ekserji sistem ve çevrenin özelliklerine bağlıdır (Tetik, 2011). Çevreyi değiştirmek kullanılabilirliği artırmanın bir yolu olabilir, fakat kolay bir yol olmadığı açıktır (Çengel ve Boles, 1996).

Ekserji bilim adamları tarafından birçok şekilde tanımlanmıştır.

- Ekserji, enerjinin tamamen diğer enerji şekillerine dönüşebilen kısmıdır (Rant, 1964).
- Ekserji gazlarda, sıvılarda ya da bir kütlede, herhangi bir referans ortama göre var olan dengesizliğin neden olduğu bir iş potansiyelidir (Ahem, 1980).
- Bir enerji şeklinin ya da maddenin ekserjisi, onun çevre üzerinde değişim yapabilme potansiyeli, kalitesi ya da kullanışlılığının bir ölçüsüdür (Dinçer, 2002).
- Ekserji, herhangi bir maddenin çevresiyle tersinir anlamda termodinamik denge haline gelmesi esnasında elde edilebilecek maksimum iştir (Szargut, 2005).

- Ekserji, sistemin çevresiyle etkileşimi sonucu, ısı transferinin sadece çevreyle olması durumunda elde edilebilecek maksimum teorik yararlı iştir (Bejan, 2006).
- Ekserji, tersinmez sistemler veya süreçlerde, entropi üretiminin neden olduğu kullanılabilir enerji kaybını belirleyen bir ifadedir (Hepbaşlı, 2008).
- Bir termodinamik sistemin ekserjisi, sistemin sadece çevresiyle etkileşimi durumunda, sistemin çevresiyle tümüyle termodinamik denge haline gelirken, elde edilebilecek maksimum teorik yararlı iş olarak tanımlanır (Tsatsaronis, 2008).

Çevre sistemin sınırı dışında kalan her şey olarak tanımlanır. Ekserjiyi hesaplayabilmek için çevrenin sıcaklığını, basıncı ve kimyasal bileşimin bilinmesi gerekmektedir. Ekserji yok edilebilir ve genellikle korunmaz. Hiçbir işin elde edilemediği durum ekserjinin tamamen yok edildiği durumdur. Sistem çevreyle dengede ise iş potansiyeli yoktur, bu durum ölü hal olarak adlandırılır. Ölü halde sistemin kimyasal potansiyeli, sıcaklığı ve basıncı çevre değerlerine eşittir. Çevrenin sıcaklığı T_0 , basıncı P_0 'dır. Genellikle sıcaklık 25°C , basınçta 1 atm' dir.

Sistem basınç, sıcaklık, hız gibi özellikleri çevreden farklı olduğunda, iş üretebilir. Sistem çevre şartlarına yaklaştıkça o sistemden elde edilebilecek iş miktarı azalır ve sistem çevresi ile denge haline geldiğinde iş yapabilme yeteneğini kaybeder (Tetik, 2011). Fakat sistem çevresi ile kimyasal bileşim olarak dengede değilse bu duruma sınırlı ölü hal denir. Sınırlı ölü halde sistemin kinetik ve potansiyel enerjilerinin sıfır olduğu var sayılır. Sınırlı ölü hal, sistemin son halinin çevre ile sadece mekanik ve ısı denge durumuna geldiği, yani sistem basıncı ve sıcaklığının çevre basıncı ve sıcaklığına eşit olduğu durumu ifade etmektedir.

Ekserjinin iki türü vardır; birincisi enerji ile aktarılan kısım diğeri ise madde ile taşınan kısımdır. Enerji aktarımı ekserjisini, iş ve ısı ekserjileri oluşturmaktadır. Madde ekserjisini de atalet ekserjisi ve maddesel ekserji oluşturmaktadır. Atalet ekserjisi, sistemin kinetik ve potansiyel hali ile ilgilidir. Maddesel ekserji ise maddenin türüne ve haline bağlı olan fiziksel ve kimyasal ekserjidir (Rivero, 2002).

Ekserji kavramını en önemli boyutları halinde ifade edecek olursak (Ayyıldız, 2014);

- Ekserji, sistem ve çevrenin bir arada oluşturduğu kombine çevrimden elde edilebilen maksimum teorik iştir. Buradaki sistem, verilen bir durumdan çevre ile denge durumu olan ölü duruma geçer. Ölü durumda kombine sistem enerjiye sahiptir ancak ekserjiye sahip değildir.

- Sistemin tüm durumları için ekserji, sifıra eşit ya da sıfırdan büyüktür.
- Değeri sistem durumu ile belirli olduğundan ekserji, ekstensif özelliktir ve burada bahsi geçen çevre daha önceden belirlenmiş olmalıdır. Ekserji birim kütle ya da birim mol başına göre yazıldığında insentif özellik olarak temsil edilebilir.
- Ekserji, sistem durumunun çevresel durumdan uzaklaşma ölçüsüdür. Verilen bir durumdaki T sıcaklığı ile çevrenin T_0 sıcaklığı arasındaki fark büyüdükçe ekserji değeri de buna bağlı olarak büyür.
- Çevreye göre göreceli olarak belirlendiğinden, sistemin kinetik ve potansiyel enerji büyüklüklerinin tamamı ekserji büyüklüğüne katılır.
- Ekserji, kimyasal ve termomekaniksel ekserjilerin toplamı şeklinde ifade edilir. Termomekaniksel ekserji, fiziksel, kinetik ve potansiyel ekserji şeklinde sınıflandırılır.
- Ekserji, sistemler arasında transfer edilebilir ve sistemler içindeki tersinmezlikler yüzünden tahrip edilebilir. Bununla beraber ekserji, bir ekserji dengesi ile açıklanabilir (Erduranlı, 1997).

1.5.1. Ekserji Verimi

Ekserji verimi bir sistemin termodinamik olarak performansının değerlendirilmesinin bir ölçüsüdür. Ekserji verimini tanımlamak için analiz edilen termodinamik sistem için hem ürünü hem de yakıtı belirlemek gereklidir. Ürün sistem tarafından üretilen sonuç, yakıt ise ürünü üretmek için gerekli kaynakları ifade eder. Ekserji verimini basit olarak, kullanılan ekserji olarak tüm ekserji girişi, yararlanılan ekserji olarak da tüm giren ekserjiyi tanımlar. Yüzde olarak ifade edildiğinde ekserji veriminin gerçek değeri ile teorik verim arasındaki fark; ekserji yıkımı ve ekserji kaybı olarak bu sistemden atılmış olan yakıt ekserjisinin yüzdesidir. Gerçek prosesler için giren ekserji, çıkan ekserjiden daima fazladır. Bu denksizlik ekserji yok oluşu olarak da adlandırılan tersinmezlikler nedeniyledir. Çıkan ekserji, ürünün ve atığın ekserjisi olmak üzere iki kısma ayrılır. Ekserji kaybının ve atık ekserjinin her ikisi ekserji kayıplarını gösterir. Ama tanımlama olarak, tersinmezliklerin hiçbir ekserjisi yoktur. Bununla beraber büyük miktarda bir ekserji yok oluşu, çevresel zararlara yol açabilen giren ekserjinin fazla miktarda kullanımı anlamına gelebilir.

Sistemlerde ekserji kaybını azaltmaya yönelik yapılacak analizlerin temel kuralları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Hepbaşlı, 2008).

- Basit kabullerle yapılan uygulamalar belirlenir.
- Kolaylaştırılmış ekserji hesapları kullanılır (ideal gaz, sıkıştırılmazlık)
- Kojenerasyon kullanılarak sistemlerde ekserji kaybı azaltılır.
- Kimyasal reaksiyon için yanmanın kullanımı, aşırı hava kullanımı en aza indirilir ve reaksiyona girenler ön ısıtmaya tabi tutulur.
- Isı transferinin direk havaya, soğutma suyuna ve soğutucuya transferini engellemek gerekir.
- Isı transferinin meydana geldiği düşük sıcaklıklarda ($T < T_0$ için) hava ya da ısı akışı ile doğrudan ısı transferi önlenmelidir.
- Düşük sıcaklıklarda, ısı değişimi uygulandığı zaman akışlar arasındaki sıcaklık farkları en aza indirilmelidir.
- İki akış arasında, ısı transferi yolu ile enerji değişiminde, akışkanların ısı transferi ortalamasının kullanımından sakınılmalıdır.
- Gazların genleşmesinden dolayı ortaya çıkan tersinmezlikler, yanma ve ısı transferinde ikinci derece öneme sahiptir.
- Aşırı yoğun termodinamik sistemlerden sıcaklık, basınç gibi farklılıklardan dolayı kaçınılmalıdır.
- Akışkan karışımlarının sıcaklık, basınç gibi farkları en aza indirilmelidir.
- Büyük kütle akışı, kütle ya da akışkanın ekserjisinin daha verimli kullanımını gerektirir (Yılbaşlı, 2007).

1.5.2. Ekserji ve Enerji

Enerji kaynaklarının sınırlı ve maliyetinin gün geçtikçe artması nedeniyle ekserji büyük önem kazanmış ve ekserjinin kullanımı artmıştır. 1950’lerde mühendislik termodinamiği kullanılabilir enerjiyi yani diğer enerji türlerine dönüştürebilen enerjiyi ifade etmek için ekserji kavramını ortaya çıkarmıştır (Sato, 2004). Ekserji tamamen başka bir enerjiye dönüşen enerji oranını göstermekte iken günümüzde verilen şartlardaki bir sistemin, çevresi ile aynı şartlara getirilmesi sonucu elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli olarak tanımlanmaktadır (Tetik, 2011).

Ekserji dengesi ısı sistemlerin analizinde kullanılır ve enerji dengesine benzemesine rağmen aralarında bazı temel farklılıklar vardır. Enerji dengesi enerji dönüşüm yasasına, ekserji dengesi ise enerjinin tersinmezliği yasasına dayanır.

Tablo 14. Enerji ve ekserji arasındaki farklılıklar (Çengel, 2001; Dinçer,2002).

Enerji	Ekserji
Sadece madde ve enerji akış parametrelerine bağlıdır ve çevresel parametrelere bağlı değildir.	Madde veya enerji akışı ve çevresel parametrelerin her ikisine bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerleri vardır(Einstein'ın bağıntısına göre mc^2 ye eşittir).	Çevre ile dengeye geline ölü hallerde sıfıra eşittir
Tüm proseslerde termodinamiğin 1. Kanununa göre yönlendirilir.	Sadece tersinir proseslerde termodinamiğin 1. Kanununa göre yönlendirilir. Tersinmez proseslerde tümüyle veya kısmi olarak yok edilir. Termodinamiğin 2. Kanunu ile ilgilidir.
Tüm proseslerde termodinamiğin 2.kanunu ile kısıtlanır (Tersinir olanlar da dahil).	Tüm proseslerde termodinamiğin 2.kanununa göre kısıtlanmaz (Tersinir işlemler için sınırlı değildir).
Hareket ya da hareket üretme kabiliyetidir.	İş ya da iş üretme kabiliyetidir.
Tüm proseslerde korunur, vardan yok edilemez, yoktan var edilemez.	Tersinir proseslerde korunur, tersinmez proseslerde harcanır.
Miktarla ölçülebilen nicel bir kavramdır.	Entropiye bağlı olarak miktarın ve niteliğin (kalitenin) ölçüsüdür.

Enerji ile ekserji kıyaslandıktan sonra, ekserji analizi yapmanın önemini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz (Dinçer, 2002):

- Enerji kaynakları kullanımının çevreye olan etkilerinin en iyi şekilde belirlenmesinde ana bir araçtır.
- Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.

- Daha fazla verimli kaynak kullanılma amacını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerleri, tipleri ve gerçek büyüklükleri ortaya çıkarılır.
- Mevcut sistemlerdeki verimsizlikleri azaltarak, daha verimli enerji sistemlerini tasarlamanın nasıl mümkün olup olmayacağını gösteren etkin bir tekniktir.
- Sürdürülebilir gelişmenin elde edilmesinde anahtar bir bileşendir.
- Enerji politikalarının oluşturulmasında kullanılabilecek önemli bir araçtır.

1.5.3. Ekserji Geçişine Neden Olan Etkileşimler

Genel olarak, ekserji geçişinin ortaya çıktığı üç farklı etkileşim söz konusudur:

1. İş etkileşimi nedeniyle ekserji geçişi: Bir sistem ile çevresi arasında iş etkileşimi olması halinde, ekserji geçişi doğrudan iş tarafından aktarılan enerji ile bağlantılı olmaktadır ve sistem sınırında gerçekleşen ekserji geçişi, yararlı işe eşittir.
2. Isı etkileşimi nedeniyle ekserji geçişi: Termodinamiğin ikinci yasası eğer bir sistemin sıcaklığı, çevre sıcaklığından farklı ise çevre sıcaklığı ile sistem sıcaklığı arasında çalışan bir ısı makinesi aracılığıyla iş elde edebileceğini söylemektedir. Böyle bir sistemden elde edilebilecek iş, ısı geçişi ve sıcaklıklara bağlıdır.
3. Madde akışı ile bağlantılı ekserji geçişi (Kütle ile birlikte enerji transferi): Birden çok giriş veya çıkışın olabileceği bir sistemde, madde akışı ile birlikte enerji aktarımı, yani akışın enerjisi söz konusudur ve bu durumda ekserji, akış ekserjisi olarak adlandırılmaktadır. Akış ekserjisi sadece çevresi ile etkileşimde bulunan bir süreç aracılığı ile belirli bir halden ölü hale kadar elde edilebilecek en fazla iş olarak tanımlanmaktadır. Akış ekserjisi, açık sistemin özelliğine, akış koşullarına bağlı olarak farklı bağıntılar ile hesaplanabilir.

1.5.4. Ekserji Bileşenleri

Sistem her zaman çevresiyle birlikte değerlendirilir. Bir sistemin ekserjisini hesaplayabilmemiz için çevrenin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Çevrenin özelliklerini sıcaklık, basınç ve kimyasal bileşimi oluşturmaktadır. Sıcaklık T_0 , 25°C (298 K), basınç ise P_0 ise 1 atm' dir.

Çevrenin kimyasal bileşimi sabit değildir, ekserji hesaplama yöntemlerine göre değişiklik gösterir. Ekserji termodinamiğin ikinci yasasına dayanır. Sistemdeki toplam ekserji bileşenlerine ayrılabilir. Nükleer, manyetik, elektriksel ve yüzey gerilim etkilerinin olmadığı bir E sisteminin toplam ekserjisi dört ana bileşene ayrılır. Bunlar; fiziksel ekserji E^{PH} , kinetik ekserji E^{KN} , potansiyel ekserji E^{PT} ve kimyasal ekserji E^{CH} dir.

$$E = E^{PH} + E^{KN} + E^{PT} + E^{CH} \quad (19)$$

Kütle birimine göre toplam spesifik ekserji, e aşağıdaki gibidir.

$$e = e^{PH} + e^{KN} + e^{PT} + e^{CH} \quad (20)$$

Kinetik ve potansiyel ekserjilerin toplamına termodinamik ekserji denir. Kinetik ve potansiyel enerjinin tamamı işe dönüştürülebildiğinden kinetik ve potansiyel ekserjileri, sistemin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjiye eşittir.

$$e^{KN} = \frac{1}{2} V^2 \quad (21)$$

$$e^{PT} = gz \quad (22)$$

V ve z sırasıyla; çevredeki koordinatlarla ilgili hız ve yüksekliği gösterir.

$$e = e^{PH} + \frac{1}{2} V^2 + gz + e^{CH} \quad (23)$$

Çevre ile ilişkisi olmayan bir sistem düşünürsek $e^{KN}=e^{PT}=0$ olur. Sistem tamamen ölü duruma geldiğinde kinetik ve potansiyel ekserjilerde sıfırdır.

Fiziksel ekserji bir sistemin bulunduğu P ve T koşullarından çevrenin standart P_0 ve T_0 koşullarına ulaşana kadar elde edilebilecek maksimum yararlı iştir. Sistemin T sıcaklığını çevreninki ile dengeleyen prosten elde edilen enerji termal ekserji, P basıncını çevreninki ile dengeleyen prosten elde edilen ekserji ise mekanik ekserji olarak tanımlanır. Kimyasal ekserji, sistem çevre ile sıcaklık ve basınç bakımından dengeye ulaştıktan (yarı ölü hale geçtikten) sonra, kimyasal dengeye ulaşırken (ölü hale geçerken) elde edilebilecek maksimum yararlı iş olarak tanımlanır.

1.5.4.1. Fiziksel Ekserji

Fiziksel ekserji, sadece çevresi ile etkileşimi içeren bir fiziksel süreç aracılığı ile P basıncında ve T sıcaklığında bir sistemden, P_0 basıncında ve T_0 sıcaklığındaki sınırlı ölü hale ulaşıncaya kadar elde edilebilecek maksimum teorik faydalı iştir.

$$E^{PH} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (24)$$

Burada U, V, S sırasıyla belirli haldeki bir sistemin iç enerjisini, hacmini ve entropisini, U_0 , V_0 , S_0 sistem kısıtlanmış ölü halde iken aynı özelliklerin değerlerini gösterirler. Fiziksel ekserji E^{PH} , kütle birimleriyle de ifade edilir. Kütle birimi için aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz.

$$e^{PH} = (u - u_0) + p_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \quad (25)$$

1.5.4.2. Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserji, sistem çevre ile sıcaklık ve basınç bakımından dengeye ulaştıktan (yarı ölü hale geldikten) sonra, kimyasal dengeye ulaşırken (ölü hale geçerken) elde edilebilecek maksimum yararlı iş olarak tanımlanır. Burada hem çevrenin hem sistemin kimyasal bileşimi büyük önem taşır. Ancak çevrenin kimyasal bileşimi sıcaklık ve basıncında gösterdiği farklılıktan daha fazla farklılık gösterir. Çevre sıcaklığı ve basıncı nasıl standart bir değerde homojen olarak kabul ediliyorsa (25°C , 1 atm), çevrenin kimyasal bileşimi de çok büyük farklılıklar göstermesine rağmen, doğal çevreyi yansıtan standart bir bileşimde referans maddelerden oluştuğu kabul edilir. Standart çevre kendi içerisinde dengededir. Çevreyi oluşturan referans bileşenlerde atmosferdeki gaz madde türleri, hidrosferdeki çözünmüş madde türleri ve litosferdeki çözünmüş madde türleri olarak belirlenir (Kutlu, 2007).

1.5.4.2.1. Standart Kimyasal Ekserji

P_0 (1 atm) basıncında, T_0 (25°C) sıcaklığında çevrenin standart değerleri temel alınarak hesaplanır. Standart çevre doğal çevrenin kimyasal yapısını yansıtan standart konsantrasyonlar ile referans maddelerin bir serisini içerir.

Referans maddeler; atmosferin gazlı bileşenleri, yer küreden katı maddeler ve okyanuslardan iyonik ve iyonik olmayan maddeler olmak üzere üçe ayrılır. Kimyasal ekserjinin hesaplanması farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu yöntemlerde çevrenin farklı bileşimde olduğu kabul edilir ve standart kimyasal ekserji değerleri hesaplama yöntemlerine göre farklılık gösterir. Hesaplamaları doğru yapmak için, seçilen yöntem uygulanırken o yöntemin çevre modeli kullanılmalıdır.

İki alternatif standart ekserji referans çevresi mühendislik hesaplamaları için kabul edilmiştir. Bunlar model 1 ve model 2 olarak adlandırılırlar.

Model 1 için referans maddeler; nitrik asit ve nitratlar için kabul edilen kimyasal denge ile atmosfer, okyanuslar ve yer kürenin belirli kimyasal bileşenleri için verilen kısıtlanmış termodinamik dengenin kabul edilmesiyle ifade edilirler.

Model 2' de ise, her bir kimyasal element için doğal çevrede bolca mevcut elementleri içeren maddeler seçilir. Bu maddelerin tamamen kararlı bir dengede olmaları gerekmemektedir. Bu yaklaşım için altı çizilen nokta; doğada bolca bulunan maddelerin az bir ekonomik değere sahip olmalarıdır. Model 1 termodinamik teorisinin denge ihtiyacını sağlamaya çalışır. Ayrıca bu modelde gaz fazının kimyasal bileşimi doğal atmosferin bileşimine yaklaşır. Bununla birlikte model 2'nin ekserji referans çevresinin kimyasal bileşimi doğal çevrenin bileşimine daha yakın olur ama denge ihtiyacı genellikle istenen ölçüde gerçekleşmez (Bilgen, 2006).

Tablo 15. Bazı maddelerin kimyasal ekserjileri (Atalay, 2004).

Madde	Faz	Mol Ağırlığı (kg/kmol)	Standart Kimyasal Ekserji (kJ/kmol)
Ag	Katı	107.8	73730
Al ₂ O ₃	Katı	101.9	204270
CO ₂	Gaz	44	20140
H ₂ O	Gaz	18	11710
H ₂ O	Sıvı	18	3120
CH ₄	Gaz	16	836510
C ₈ H ₁₈	Sıvı	114	5440030

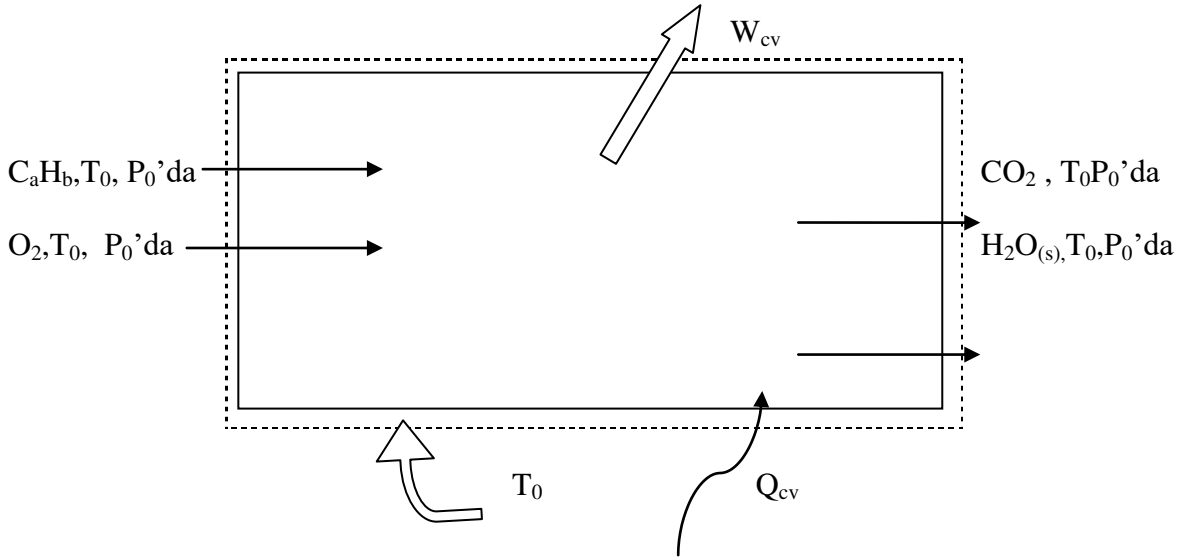
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sıvı ürünlerin kimyasal ekserjisini hesaplamak için Şekil 8’ de gösterilen yanma sistemi dikkate alınmıştır. Sisteme T_0 ve P_0 ’ da giren yakıt oksijen ile reaksiyona girerek CO_2 , SO_2 ve H_2O oluşturur. Ayrıca yakıttaki azot T_0 ve P_0 ’ da N_2 olarak çıkar. Sisteme giren 1 kg kuru ve külsüz yakıtın yanma reaksiyonu:



Sıvı ürünlerin kimyasal ekserjisini hesaplamak için kullanılan c , h , o , n , s değerlerinin her biri kmol/kg birimindedir.

Tablo 16’ da verilen kuru ve külsüz yakıtların kütle fraksiyonlarının yüzdeleri; her bir bileşenin 100 gram yakıt içerisindeki gram miktarlarını ifade etmektedirler. Bu miktardan mol/g’ a geçmek için her bir bileşenin 1 g yakıtta bulunan gram miktarı o bileşenin molekül ağırlığına bölünmüştür. Bulunan bu değer aynı zamanda kmol/kg birimindeki, değere eşit olur.



Şekil 8. Hidrokarbon yakıt C_aH_b ’ nin kimyasal enerjisinin hesabı için düzenek (Ayyıldız, 2014).

Eşitlik (26)’ nın dengelenmesiyle aşağıdaki denklikler yazılabilir:

$$v_{\text{CO}_2} = c, \quad v_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{2}h, \quad v_{\text{SO}_2} = s, \quad v_{\text{N}_2} = \frac{1}{2}n, \quad v_{\text{O}_2} = c + \frac{1}{4}h + s - \frac{1}{2}o \quad (27)$$

Tablo 16. Bazı sıvı yakıtların elementel analizi

Yakıt Adı	%C	%H	%O	%N	%S	Referans
Ham Petrol	91.80	3.40	3.10	0.80	0.90	Kaushik S.C. vd, 2013
Irak Ağır Petrol	80.70	10.20	-	0.70	8.40	Kutlu E., 2007
Kanada Ağır Petrol	83.70	10.40	1.10	0.40	4.40	Kutlu E., 2007
Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)	75.57	24.37	-	0.06	-	Edwards J.H. vd, 1996
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	82.15	17.85	-	-	-	URL-10, 2015
Propan	81.72	12.28	-	-	-	URL-10, 2015
Bütan	82.66	17.34	-	-	-	URL-10, 2015
n-Pentan	83.22	16.78	-	-	-	Channiwala S.A. vd, 2001
n-Oktan	84.10	15.90	-	-	-	Gaur S. vd, 1998
n-Eicosane, C ₂₀ H ₄₂	85.01	14.99	-	-	-	Channiwala S.A. vd, 2001
Benzen	92.25	7.75	-	-	-	Channiwala S.A. vd, 2001
n-Oktıl Benzen, C ₁₄ H ₂₂	88.34	11.66	-	-	-	Channiwala S.A. vd, 2001
Metanol	37.50	12.50	50.00	-	-	Channiwala S.A. vd, 2001

Tablo 16'nın devamı

Etanol	52.20	13.00	34.80	-	-	Gaur S. vd, 1998
Hafif Nafta	84.00	16.00	-	-	-	Steiner H., 1961
Orta Nafta	84.70	15.30	-	-	-	Steiner H., 1961
Ağır Nafta	85.70	14.30	-	-	-	Steiner H., 1961
Nafta#1	86.94	13.00	0.02	0.01	0.03	Jechura J.,2015
Nafta#2	85.88	13.56	0.51	-	0.05	Jechura J.,2015
Whiterocks Katranı	87.00	11.20	-	1.40	0.400	Subramanian M. vd, 1996
Asphalt Ridge Katranı	86.90	11.60	-	1.10	0.40	Subramanian M. vd, 1996
RP Spring Katranı	87.00	11.30	-	1.30	0.40	Subramanian M. vd, 1996
Sunnyside Katranı	86.80	10.80	-	1.70	0.70	Subramanian M. vd, 1996
Kok Katranı	92.00	5.500	0.80	0.90	0.80	Gaur S. vd, 1998
Kömür Katranı	91.81	4.77	1.51	1.48	0.43	Mcketta J.J. vd, 1979
Odun Katranı	76.72	6.46	14.68	2.14	-	Channiwala S.A. vd, 2001
Kömür Su Bulamacı	37.97	8.27	51.06	0.64	2.06	Masudi H. vd, 1996

Tablo 16'nın devamı

Orimülsiyon	84.50	10.80	-	0.75	3.95	Cox M. vd, 2008
Standart Benzin	85.60	14.35	-	-	0.05	Penninger, A. vd, 2015
Uçak benzini	85.10	14.90	-	-	-	Channiwala S.A. vd, 2001
Motor Benzini	85.50	14.40	-	-	0.10	Gaur S. vd, 1998
JP-4	85.71	14.29	-	-	-	Sinor J.E., 2001
JP-5	86.75	13.25	-	-	-	Sinor J.E., 2001
JP-7	85.21	14.79	-	-	-	Sinor J.E., 2001
JP-8	86.27	13.73	-	-	-	Sinor J.E., 2001
Kerosen	85.80	14.10	-	-	0.10	Gaur S. vd, 1998
Petrolde Kerosen	85.30	14.10	0.30	0.10	0.20	Penninger A. vd, 2015
Dizel Yakıt	86.50	13.20	-	-	-	Channiwala S.A. vd, 2001
ASTM No. 2D Diesel	87.17	12.76	-	0.07	-	Lin C.Y. vd, 2009
Straightrun Dizel (SRD)	86.66	13.29	-	-	0.05	Erwin J., 1992
Atık Yemelik Yağdan Ticari Biyodizel	78.07	12.25	9.63	0.05	-	Lin C.Y. vd, 2009

Tablo 16'nın devamı

Deniz Balığı Yağından Biyodizel	80.01	12.75	7.19	0.05	-	Lin C.Y. vd, 2009
No.1 Fuel Oil	86.20	12.80	-	-	1.00	Morvay Z.K. vd, 2008
No.2 Fuel Oil	84.30	12.20	-	-	3.50	Morvay Z.K. vd, 2008
No.3 Fuel Oil	84.10	11.80	-	-	4.10	Morvay Z.K. vd, 2008
No.4 Fuel Oil	83.90	11.50	-	-	4.60	Morvay Z.K. vd, 2008
No.5 Fuel Oil	89.20	9.60	-	-	1.20	Morvay Z.K. vd, 2008
No.6 Fuel Oil (Düşük Sülfürlü)	87.69	10.54	0.64	0.28	0.85	Metz B. vd, 2005
No.6 Fuel Oil (Yüksek Sülfürlü)	84.45	11.02	0.38	0.18	3.97	Metz B. vd, 2005
Ağır Fuel Oil	85.43	11.41	0.20	0.16	2.80	Channiwala S.A. vd, 2001
Ağır Fuel Oil-1	84.00	10.00	1.60	1.20	3.20	Kaushik S.C. vd, 2013
Ağır Fuel Oil-2	83.90	10.15	1.20	1.15	3.60	Kaushik S.C. vd, 2013
Ağır Fuel Oil-3	83.70	12.70	1.20	1.70	0.70	Kaushik S.C. vd, 2013
Ağır Fuel Oil-4	86.10	13.20	-	-	0.70	Kaushik S.C. vd, 2013

Tablo 16'nün devamı

Light Cycle oil (LCO)	88.84	9.84	0.63	-	0.69	Erwin J., 1992
Light Cooker Gas Oil (LCGO)	85.18	12.58	0.83	-	1.41	Erwin J., 1992
Fisher-Tropsch Oil (FT)	84.89	15.11	-	-	-	Erwin J., 1992
Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	82.80	12.50	2.30	0.10	2.30	Lam S.S. vd, 2012
Atık Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	81.90	15.10	2.10	0.10	0.80	Lam S.S. vd, 2012
Colorado Şist Yağı	84.90	11.50	0.80	2.19	0.61	Guo, H. S., 2009
Kukersite, Estonya Şist Yağı	82.85	9.20	6.79	0.30	0.86	Guo, H. S., 2009
Stuart, Avustralya Şist Yağı	82.70	12.40	3.34	0.91	0.65	Guo, H. S., 2009
Rundle, Avustralya Şist Yağı	79.50	11.50	7.60	0.99	0.41	Guo, H. S., 2009
Irati, Brezilya Şist Yağı	84.30	12.00	1.96	1.06	0.68	Guo, H. S., 2009
Moaming, Çin Şist Yağı	84.82	11.40	2.20	1.10	0.48	Guo, H. S., 2009
Fushun, Çin Şist Yağı	85.39	12.09	0.71	1.27	0.54	Guo, H. S., 2009
Kashpir, Rusya Şist Yağı	80.20	9.10	2.10	0.90	7.70	Hans, L., 2009
Soya Yağı	73.30	10.60	14.20	1.90	-	Biller P. vd, 2011

Tablo 16'nın devamı

Kullanılmış Yağ	85.20	12.83	1.08	0.08	0.81	Alsheyab A. T. M. vd, 2013
Kullanılmış Yemeklik Yağ	76.60	11.60	11.76	0.01	0.03	Alsheyab A. T. M. vd, 2013
Petrol Çamuru	71.40	8.80	14.20	5.60	-	Channiwala S.A. vd, 2001
Yağlı Boya	79.87	11.51	6.22	2.40	-	Channiwala S.A. vd, 2001
LBL Odunsu Yağ	73.25	8.71	17.83	0.20	0.01	Gaur S. vd, 1998
BOM Odunsu Yağ	81.50	8.75	9.15	0.60	-	Gaur S. vd, 1998
Çam Bio-oil	56.10	11.60	32.30	-	-	Stefanidis S. D. vd, 2015
Çam Talaş Bio-oil	43.20	5.99	50.59	0.22	-	Chen G. vd, 2015
Meşe Bio-oil	54.10	7.50	38.40	-	-	Stefanidis S. D. vd, 2015
Buğday Samanı Bio-oil	56.90	8.40	34.70	-	-	Stefanidis S. D. vd, 2015
Arpa Samanı Bio-oil	54.70	9.60	35.70	-	-	Stefanidis S. D. vd, 2015
Okalıptüs Bio-oil	56.10	8.20	35.70	-	-	Stefanidis S. D. vd, 2015

Sıvı ürünlerin kimyasal ekserjisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir:

$$e_{DAF}^{CH} = (HHV)_{DAF} - T_0 [s_{DAF} + v_{O_2} \bar{s}_{O_2} - v_{CO_2} \bar{s}_{CO_2} - v_{H_2O} \bar{s}_{H_2O} - v_{SO_2} \bar{s}_{SO_2} - v_{N_2} \bar{s}_{N_2}] \\ + [v_{CO_2} \bar{e}_{CO_2}^{CH} + v_{H_2O} \bar{e}_{H_2O}^{CH} + v_{SO_2} \bar{e}_{SO_2}^{CH} + v_{N_2} \bar{e}_{N_2}^{CH} - v_{O_2} \bar{e}_{O_2}^{CH}] \quad (28)$$

Bu eşitlikteki $(HHV)_{DAF}$ kuru ve külsüz bazda üst ısı değeri; elde deneysel bir değer olmadığı kabul edilerek MJ/kg cinsinden aşağıdaki formül kullanılarak bulunabilir.

$$HHV \text{ (MJ/kg)}_{DAF} = 0.3491 C + 1.1783 H + 0.1005 S - 0.1034 O - 0.0151 N \quad (29)$$

Bu eşitlikteki C, H, S, O ve N değerleri sıvı ürünlerin kuru ve külsüz elementel analizlerinden bulunan değerler yazılarak hesaplanır. Kullandığımız eşitlikten başka, üst ısı değerleri hesaplamak için literatürde mevcut olan birçok eşitlik Tablo 17’de gösterilmektedir.

Kuru ve külsüz yakıt için mutlak entropi aşağıdaki eşitlik kullanılarak kJ/kg.K cinsinden hesaplanır.

$$s_{DAF} = c \left[37.1653 - 31.4767 \exp \left(-0.564682 \frac{h}{c+n} \right) + 20.1145 \frac{o}{c+n} \right. \\ \left. + 54.3111 \frac{n}{c+n} + 44.6712 \frac{s}{c+n} \right] \quad (30)$$

Yakıtların ekserji değerlerinin hesaplanması için gerekli mutlak entropi değerleri Tablo 18’den alınır.

$$\begin{aligned} \bar{s}_{O_2} &= 205.15 \text{ kJ / kmol.K} & \bar{s}_{CO_2} &= 213.79 \text{ J / kmol.K} \\ \bar{s}_{H_2O} &= 69.95 \text{ kJ / kmol.K} & \bar{s}_{SO_2} &= 284.09 \text{ kJ / kmol.K} \\ \bar{s}_{N_2} &= 191.61 \text{ kJ / kmol.K} & & \end{aligned} \quad (31)$$

Tablo 17. HHV eşitlikleri ve bunların değerleri (Ayyıldız, 2014).

Sayı	Yazarın İsmi	Eşitlik (HHV.MJ/kg)	AAE (%)	ABE (%)	Katsayı R ²
Tahmini Analize Dayanarak					
1	Jimenez ve Gonzales	$HHV = -10,81408 + 0,3133(VM + FC)$	4.43	1.16	0.533
2	Güncel Yazarlar	$HHV = 19,914 - 0,2324Ash$	3.78	0.30	0.625
3	Demirbaş	$HHV = 0,196*FC + 14,119$	8.85	-5.60	-0.647
4	Demirbaş	$HHV = 0,312*FC + 0,1534*VM$	7.69	-6.97	-0.306
5	Cordero et al.	$HHV = 0,3543*FC + 0,1708*VM$	5.68	4.23	0.247
6	Güncel Yazarlar	$HHV = -3,0368 + 0,2218VM + 0,2601FC$	3.65	0.26	0.617
Esas Analizlere Dayanarak					
7	Tillman	$HHV = 0,4373C - 1,6701$	3.73	0.49	0.666
8	Güncel Yazarlar	$HHV = 0,3259C + 3,4597$	3.16	0.19	0.758
9	Boie	$HHV = 0,3516C + 1,1622H - 0,1109O + 0,0628xN + 0,10465xS$	3.51	-0.59	0.720
10	IGT	$HHV = 0,341C + 1,322H - 0,12O - 0,12N + 0,0686S - 0,0153Ash$	3.55	-1.18	0.695
11	Graboski ve Bain	$HHV = 0,328C + 0,4306H - 0,0237N + 0,0929S - (1 - Ash/100)(40,11H/C) + 0,3466$	4.26	2.85	0.647
12	Channiwala ve Parikh	$HHV = 0,3491C + 1,1783H + 0,1005S - 0,1034O - 0,0151N - 0,0211Ash$	3.47	0.11	0.733
13	Demirbaş	$HHV = 0,335C + 1,423H - 0,154O - 0,145N$	6.73	-1.67	0.081
14	Jenkins	$HVV = -0,763 + 0,301C + 0,525H + 0,064O$	2.95	1.78	0.792
15	Güncel Yazarlar	$HHV = -1,3675 + 0,3137C + 0,7009H + 0,03180^{*b}$	2.59	0.07	0.834
Kimyasal Bileşime Dayanarak^c					
16	Shafizadeh ve Degroot	$HHV = 0,1739Ce + 0,2663L + 0,3219E$	7.62	6.90	-0.503
17	Jimenez ve Gonzales	$HHV = \left[\frac{1 - Ash}{100 - Ash} \times \left(0,1739Ce + 0,2663L + 0,3219E \right) \right]$	7.41	1.92	-0.451
18	Tillman	$HHV = 0,1739Ce + 0,2663(1 - Ce)$	9.24	4.10	-1.068
19	Demirbaş	$HHV = 0,0889L + 16,8218$	10.96	-8.50	-0.875

Tablo 18. Çeşitli maddelerin 1 bar basınçta spesifik ısı, entalpi, mutlak entropi ve gibbs fonksiyonunun sıcaklıkla değişimi (kJ / kmol veya kJ / kmol*K) (Ayyıldız, 2014).

Sıcaklığın $T_{ref} = 298.15 \text{ K}$ (25°C), Basıncın $p_{ref} = 1 \text{ bar}$ olduğu şartlarda					
Madde	Formül	$\bar{c}_p^\circ$	$\bar{h}^\circ$	$\bar{s}^\circ$	$\bar{g}^\circ$
Karbon (grafit)	C (s)	8.53	0	5.740	- 1711
Kükürt	S (s)	22.77	0	32.058	- 9558
Azot	N ₂ (g)	28.49	0	191.610	- 57128
Oksijen	O ₂ (g)	28.92	0	205.146	- 61164
Hidrojen	H ₂ (g)	29.13	0	130.679	- 38961
Karbon monoksit	CO (g)	28.54	- 110528	197.648	- 169457
Karbon dioksit	CO ₂ (g)	35.91	- 393521	213.794	- 457264
Su (gaz)	H ₂ O (g)	31.96	- 241856	188.824	- 298153
Su (sıvı)	H ₂ O (l)	75.79	- 285829	69.948	- 306685
Metan	CH ₄ (g)	35.05	- 74872	186.251	- 130403
Sülfür dioksit	SO ₂ (g)	39.59	- 296833	284.094	- 370803
Hidrojen sülfid	H ₂ S (g)	33.06	- 20501	205.757	- 81847
Amonyak	NH ₃ (g)	35.59	- 46111	192.451	- 103491

(29), (30), (31) eşitliklerinden elde edilen değerlerden yararlanılarak (28) eşitliğinin birinci parantezli terimin değeri bulunur. Eşitlik (28)'un ikinci parantezli teriminin değerini bulmak için Tablo 19'da verilen model 1 deki verilerden yararlanılır.

$$\begin{aligned}
 \bar{e}_{\text{O}_2}^{\text{CH}} &= 3.951 \text{ MJ / kmol} & \bar{e}_{\text{CO}_2}^{\text{CH}} &= 14.176 \text{ MJ / kmol} \\
 \bar{e}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{CH}} &= 0.045 \text{ MJ / kmol} & \bar{e}_{\text{SO}_2}^{\text{CH}} &= 301.939 \text{ MJ / kmol} \\
 \bar{e}_{\text{N}_2}^{\text{CH}} &= 0.639 \text{ MJ / kmol} & &
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

Böylece (28) eşitliğinin ikinci parantezli terimi bulunmuş olur. Son olarak, elde ettiğimiz bu verileri Eşitlik (28)'de yerine koyup ve $T_0=298.15\text{K}$ olarak aldığımızda seçmiş olduğumuz sıvı ürünlerin kimyasal ekserjilerini MJ/kg(DAF) cinsinden hesaplamış oluruz.

Tablo 19. Çeşitli maddelerin 298.15 K ve p_0 'daki standart molar kimyasal ekserji ($\bar{e}^{\text{CH}}$) değerleri (kJ/kmol) (Ayyıldız, 2014).

Madde	Formül	Model 1	Model 2
Azot	N_2 (g)	639	720
Oksijen	O_2 (g)	3 951	3 970
Karbon dioksit	CO_2 (g)	14 176	19 870
Su	H_2O (g)	8 636	9 500
Su	H_2O (l)	45	900
Karbon (grafit)	C (s)	404 589	410 260
Hidrojen	H_2 (g)	235 249	236 100
Kükürt	S (s)	598 158	609 600
Karbon monoksit	CO (g)	269 412	275 100
Kükürt dioksit	SO_2 (g)	301 939	313 400
Azot dioksit	NO_2 (g)	55 565	55 600
Hidrojen sülfür	H_2S	799 890	812 000
Amonyak	NH_3 (g)	336 684	337 900
Oksijen	O (g)	231 968	233 700
Hidrojen	H (g)	320 822	331 300
Azot	N (g)	453 821	-
Metan	CH_4 (g)	824 348	831 650
Asetilen	C_2H_2 (g)	-	1 265 800
Etan	C_2H_6 (g)	1 482 033	1 495 840
Propan	C_3H_8 (g)	-	2 154 000
n- Bütan	C_4H_{10} (g)	-	2 805 800
Benzen	C_6H_6 (g)	-	3 303 600
Oktan	C_8H_{18} (l)	-	5 413 100
Metanol	CH_3OH (g)	715 069	722 300
Etil alkol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (g)	1 348 328	1 363 900

Sıvı ve katı yakıtlar için yakıtların kimyasal ekserjisi ile alt ısı değerlerinin sabit bir oranı olduğu bilinmektedir. Bu oran aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$\beta = \frac{e^{CH}}{LHV} \quad (33)$$

Tablo 20’de farklı organik madde grupları için elde edilen β değerleri verilmiştir. Bizim bu çalışmada sıvı yakıtlar için kullandığımız eşitlikler aşağıda verilmektedir:

$$\beta_1 = 1.0406 + 0.0144 \frac{H}{C} \quad (34)$$

$$\beta_2 = 1.0374 + 0.0159 \frac{H}{C} + 0.0567 \frac{O}{C} \quad \frac{O}{C} < 1 \quad (35)$$

$$\beta_3 = 1.047 + 0.0154 \frac{H}{C} + 0.0562 \frac{O}{C} + 0.5904 \frac{S}{C} \left(1 - 0.175 \frac{H}{C} \right) \quad \frac{O}{C} < 1 \quad (36)$$

$$\beta_4 = 1.041 + 0.1728 \frac{Z_{H_2}}{Z_C} + 0.0432 \frac{Z_{O_2}}{Z_C} + 0.2169 \frac{Z_S}{Z_C} \left(1 - 2.0628 \frac{Z_{H_2}}{Z_C} \right) \quad (37)$$

Kimyasal ekserji değerini hesaplamada kullanacağımız alt ısı değeri (LHV) bulmak için ise aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$LHV (MJ / kg) = HHV - 2.442 \times 8.936 (H / 100) \quad (38)$$

Tablo 20. Bazı hidrokarbonların β değerlerinin hesaplanması (Szargut vd, 1988).

Madde	Eşitlik	Uygulama Aralığı	Ortalama Doğruluk
Gaz Hidrokarbonlar	$\beta = 1,0334 + 0,0183 \frac{H}{C} - 0,0694 \frac{1}{N_C}$		$\pm 0,27$
Sıvı Hidrokarbonlar	$\beta = 1,0406 + 0,0144 \frac{H}{C}$		$\pm 0,21$
Katı Hidrokarbonlar	$\beta = 1,0435 + 0,0159 \frac{H}{C}$		$\pm 0,05$
Sıvı C.H.O Bileşikleri	$\beta = 1,0374 + 0,0159 \frac{H}{C} + 0,0567 \frac{O}{C}$	$\frac{O}{C} \leq 1,000$	$\pm 0,34$
Katı C.H.O Bileşikleri	$\beta = 1,0438 + 0,0158 \frac{H}{C} + 0,0813 \frac{O}{C}$	$\frac{O}{C} \leq 0,500$	$\pm 0,10$
	$\beta = \frac{1,0404 + 0,0177 H/C - 0,3328 O/C (1 + 0,0537 O/C)}{1 - 0,4021 O/C}$	$\frac{O}{C} \leq 2,000$	$\pm 0,69$
Sıvı C.H.O.S Bileşikleri	$\beta = 1,0407 + 0,0154 \frac{H}{C} + 0,0562 \frac{O}{C} + 0,5904 \frac{S}{C} \left(1 - 0,175 \frac{H}{C} \right)$	$\frac{O}{C} \leq 1,000$	$\pm 0,50$
Katı C.H.O.N Bileşikleri	$\beta = 1,0437 + 0,0140 \frac{H}{C} + 0,0968 \frac{O}{C} + 0,0467 \frac{N}{C}$	$\frac{O}{C} \leq 0,500$	$\pm 0,38$
	$\beta = \frac{1,044 + 0,0160 H/C - 0,3493 O/C (1 + 0,0531 H/C) + 0,0493 N/C}{1 - 0,4124 O/C}$	$\frac{O}{C} \leq 2,000$	$\pm 0,72$
Bitümlü kömür.linyit.kok.turba	$\beta = 1,0437 + 0,1896 \frac{Z_{H_2}}{Z_C} + 0,0617 \frac{Z_{O_2}}{Z_C} + 0,0428 \frac{Z_{N_2}}{Z_C}$	$\frac{Z_{O_2}}{Z_C} \leq 0,667$	$\pm 0,100$
Odun	$\beta = \frac{1,0412 + 0,2160 \frac{Z_{H_2}}{Z_C} - 0,2499 \frac{Z_{O_2}}{Z_C} \left(1 + 0,7884 \frac{Z_{H_2}}{Z_C} \right) + 0,0450 \frac{Z_{N_2}}{Z_C}}{1 - 0,3035 \frac{Z_{O_2}}{Z_C}}$	$\frac{Z_{O_2}}{Z_C} \leq 2,670$	$\pm 0,150$
Sıvı Teknik Yakıt	$\beta = 1,0401 + 0,1728 \frac{Z_{H_2}}{Z_C} + 0,0432 \frac{Z_{O_2}}{Z_C} + 0,2169 \left(1 - 2,0628 \frac{Z_{H_2}}{Z_C} \right)$		$\pm 0,50$

3. BULGULAR

Bu çalışmada incelenen sıvı yakıtların v_{CO_2} , v_{H_2O} , v_{SO_2} , v_{N_2} , v_{O_2} değerleri Eşitlik 27 kullanılarak, s_{DAF} (kJ/kg.K) değerleri ise Eşitlik 30 kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 16’da sıvı yakıtların elementel analizinden elde edilen %C, %H, %O, %N ve %S değerleri verilmiştir. Eşitlik 29 kullanılarak HHV_{DAF} (kJ/kg.K) değerleri, Eşitlik 34, 35, 36 ve 37 kullanılarak β_1 , β_2 , β_3 ve β_4 değerleri, Eşitlik 38 kullanılarak LHV_{DAF} değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 22’ de gösterilmiştir.

Katı ve sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerlerini belirlemek için kullanılan Eşitlik 28 ile e_{DAF}^{CH} değerleri hesaplanmıştır. $(e_{DAF}^{CH})_1$, $(e_{DAF}^{CH})_2$, $(e_{DAF}^{CH})_3$ ve $(e_{DAF}^{CH})_4$ değerleri ise sırasıyla Eşitlik 34, 35, 36 ve 37 kullanılarak belirlenen β_1 , β_2 , β_3 ve β_4 değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerleri ile onların elementel analiz sonuçları arasındaki ilişkiyi veren aşağıdaki eşitliği türettik:

$$(e_{DAF}^{CH})_5 = 0.3633xC + 1.076xH + 1.1046xS - 0.1002xO - 0.0165xN \quad (39)$$

Bu eşitlikteki C, H, S, O ve N değerleri yüzde olarak kütle fraksiyonlarını ifade etmektedirler.

İncelen sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerleri yukarıda ifade edilen 6 farklı formülден hesaplanmış ve elde edilen veriler Tablo 23’ te sunulmuştur.

Son olarak Şekil 9, 10, 11, 12 ve 13’ de sıvı yakıtların farklı yöntemlerle hesaplanan kimyasal ekserji değerleri ile Eşitlik 39 kullanılarak elde edilen değerler arasındaki korelasyon grafikleri verilmiştir.

Tablo 21. Sıvı yakıtların kuru ve külsüz bazda S_{DAF} (kJ/kg.K), V_{CO_2} , V_{H_2O} , V_{SO_2} , V_{N_2} ve V_{O_2} değerleri

Yakıt Adı	S_{DAF}	V_{CO_2}	V_{H_2O}	V_{SO_2}	V_{N_2}	V_{O_2}
Ham Petrol	1.04393	0.07643	0.01687	0.00028	0.00029	0.08418
Irak Ağır Petrol	1.73103	0.06719	0.05060	0.00262	0.00025	0.09511
Kanada Ağır Petrol	1.72629	0.06969	0.05159	0.00137	0.00014	0.09651
Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)	2.11425	0.06292	0.12089	0	0.00002	0.12336
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	2.04306	0.06840	0.08855	0	0	0.11267
Propan	1.74955	0.06804	0.06092	0	0	0.09850
Bütan	2.02971	0.06882	0.08602	0	0	0.11183
n-Pentan	2.01353	0.06929	0.08324	0	0	0.11091
n-Oktan	1.98472	0.07002	0.07887	0	0	0.10946
n-Eicosane, $C_{20}H_{42}$	1.95037	0.07078	0.07436	0	0	0.10796
Benzen	1.48086	0.07681	0.03844	0	0	0.09603
n-Oktıl Benzen, $C_{14}H_{22}$	1.78105	0.07355	0.05784	0	0	0.10247
Metanol	1.68466	0.03122	0.06201	0	0	0.04660

Tablo 21'in devamı

Etanol	1.79671	0.04346	0.06449	0	0	0.06483
Hafif Nafta	1.98821	0.06994	0.07937	0	0	0.10962
Orta Nafta	1.96260	0.07052	0.07590	0	0	0.10847
Ağır Nafta	1.92108	0.07135	0.07094	0	0	0.10682
Nafta#1	1.85814	0.07239	0.06449	0.00001	0	0.10463
Nafta#2	1.88668	0.07150	0.06727	0.00002	0	0.10499
Whiterocks Katranı	1.78093	0.07244	0.05556	0.00012	0.00050	0.10034
Asphalt Ridge Katranı	1.80012	0.07235	0.05754	0.00012	0.00039	0.10125
RP Spring Katranı	1.78534	0.07244	0.05605	0.00012	0.00046	0.10059
Sunnyside Katranı	1.76182	0.07227	0.05357	0.00022	0.00061	0.09927
Kok Katranı	1.28450	0.07660	0.02728	0.00025	0.00032	0.09024
Kömür Katranı	1.21783	0.07644	0.02366	0.00013	0.00053	0.08793
Odun Katranı	1.47912	0.06388	0.03205	0	0.00076	0.07531
Kömür Su Bulamacı	1.62579	0.03161	0.04102	0.00064	0.00023	0.03681

Tablo 21'in devamı

Orimülsiyon	1.75501	0.07035	0.05357	0.00123	0.00027	0.09837
Standart Benzin	1.92335	0.07127	0.07118	0.00002	0	0.10688
Uçak benzini	1.94671	0.07085	0.07391	0	0	0.10781
Motor Benzini	1.92560	0.07119	0.07143	0.00003	0	0.10693
JP-4	1.92063	0.07136	0.07089	0	0	0.10680
JP-5	1.87087	0.07223	0.06573	0	0	0.10509
JP-7	1.94217	0.07095	0.07337	0	0	0.10763
JP-8	1.89468	0.07183	0.06811	0	0	0.10588
Kerosen	1.91217	0.07144	0.06994	0.00003	0	0.10644
Petrolde Kerosen	1.91403	0.07102	0.06994	0.00006	0.00004	0.10596
Dizel Yakıt	1.86473	0.07202	0.06548	0	0	0.10476
ASTM No. 2D Diesel	1.84633	0.07258	0.06330	0	0.00002	0.10423
Straightrun Dizel (SRD)	1.87301	0.07215	0.06593	0.00002	0	0.10513
Atık Yemelik Yağdan Ticari Biyodizel	1.82647	0.06500	0.06077	0	0.00002	0.09237

Tablo 21'in devamı

Deniz Balığı Yağından Biyodizel	1.85005	0.06662	0.06325	0	0.00002	0.09599
No.1 Fuel Oil	1.84951	0.07177	0.06350	0.00031	0	0.10383
No.2 Fuel Oil	1.82298	0.07019	0.06052	0.00109	0	0.10154
No.3 Fuel Oil	1.80204	0.07002	0.05854	0.00128	0	0.10057
No.4 Fuel Oil	1.78600	0.06985	0.05705	0.00143	0	0.09981
No.5 Fuel Oil	1.64375	0.07427	0.04762	0.00037	0	0.09845
No.6 Fuel Oil (Düşük Sülfürlü)	1.71825	0.07301	0.05228	0.00027	0.00010	0.09922
No.6 Fuel Oil (Yüksek Sülfürlü)	1.75886	0.07031	0.05467	0.00124	0.00006	0.09876
Ağır Fuel Oil	1.77839	0.07113	0.05660	0.00087	0.00006	0.10024
Ağır Fuel Oil-1	1.71139	0.06994	0.04961	0.00100	0.00043	0.09524
Ağır Fuel Oil-2	1.72125	0.06985	0.05035	0.00112	0.00041	0.09578
Ağır Fuel Oil-3	1.87503	0.06969	0.06300	0.00022	0.00061	0.10103
Ağır Fuel Oil-4	1.86970	0.07169	0.06548	0.00022	0	0.10464

Tablo 21'in devamı

Light Cycle oil (LCO)	1.66157	0.07397	0.04881	0.00022	0	0.09839
Light Cooker Gas Oil (LCGO)	1.83947	0.07092	0.06240	0.00044	0	0.10230
Fisher-Tropsch Oil (FT)	1.95517	0.07068	0.07495	0	0	0.10816
Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	1.84031	0.06894	0.06201	0.00072	0.00004	0.09994
Atık Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	1.95409	0.06819	0.07491	0.00025	0.00004	0.10524
Colorado Şist Yağı	1.81620	0.07069	0.05705	0.00019	0.00078	0.09915
Kukersite. Estonya Şist Yağı	1.64141	0.06898	0.04564	0.00027	0.00011	0.08995
Stuart. Avustralya Şist Yağı	1.84682	0.06886	0.06151	0.00020	0.00032	0.09877
Rundle. Avustralya Şist Yağı	1.80287	0.06619	0.05705	0.00013	0.00035	0.09247
Irati. Brezilya Şist Yağı	1.82650	0.07019	0.05953	0.00021	0.00038	0.09955
Moaming. Çin Şist Yağı	1.79196	0.07062	0.05655	0.00015	0.00039	0.09836
Fushun. Çin Şist Yağı	1.83359	0.07109	0.05997	0.00017	0.00045	0.10103
Kashpir. Rusya Şist Yağı	1.66195	0.06677	0.04514	0.00240	0.00032	0.09109
Soya Yağı	1.77336	0.06103	0.05258	0	0.00068	0.08288

Tablo 21'in devamı

Kullanılmış Yağ	1.85307	0.07094	0.06364	0.00025	0.00003	0.10267
Kullanılmış Yemeklik Yağ	1.79420	0.06378	0.05754	0.00001	0	0.08888
Petrol Çamuru	1.71980	0.05945	0.04365	0	0.00200	0.07684
Yağlı Boya	1.82510	0.06650	0.05710	0	0.00086	0.09310
LBL Odunsu Yağ	1.63403	0.06099	0.04321	0	0.00007	0.07702
BOM Odunsu Yağ	1.61748	0.06786	0.04341	0	0.00021	0.08670
Çam Bio-oil	1.77630	0.04671	0.05754	0	0.00000	0.06539
Çam Talaş Bio-oil	1.53134	0.03597	0.02971	0	0.00008	0.03501
Meşe Bio-oil	1.59899	0.04504	0.03720	0	0	0.05165
Buğday Samanı Bio-oil	1.64470	0.04737	0.04167	0	0	0.05736
Arpa Samanı Bio-oil	1.70134	0.04554	0.04762	0	0	0.05820
Okaliptüs Bio-oil	1.63491	0.04671	0.04068	0	0	0.05589

Tablo 22. Sıvı yakıtların (HHV)_{DAF} (MJ/kg), (LHV)_{DAF} (MJ/kg) ve β_1 , β_2 , β_3 ve β_4 değerleri

Yakıt Adı	(HHV) _{DAF}	(LHV) _{DAF}	β_1	β_2	β_3	β_4
Ham Petrol	35.81143	35.06949	1.04696	1.04585	1.05092	1.04992
Irak Ağır Petrol	41.02466	38.79885	1.06229	1.06135	1.08085	1.07863
Kanada Ağır Petrol	41.79641	39.52695	1.06192	1.06150	1.07267	1.07062
Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)	55.09575	49.7778	1.09594	1.09850	1.09988	1.09582
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	49.71122	45.81604	1.07788	1.07857	1.08057	1.07765
Propan	42.99798	40.31827	1.06638	1.06587	1.06828	1.06607
Bütan	49.28833	45.50444	1.07660	1.07715	1.07920	1.07635
n-Pentan	48.82398	45.16229	1.07520	1.07560	1.07770	1.07494
n-Oktan	48.09428	44.62463	1.07304	1.07322	1.07539	1.07277
n-Eicosane, C ₂₀ H ₄₂	47.33971	44.06863	1.07086	1.07081	1.07306	1.07057
Benzen	41.33630	39.64512	1.05502	1.05332	1.05612	1.05462
n-Oktıl Benzen, C ₁₄ H ₂₂	44.57847	42.03406	1.06325	1.06241	1.06492	1.06291
Metanol	22.65000	19.92229	1.09780	1.15731	1.15812	1.15530

Tablo 22'nin devamı

Etanol	29.94260	27.10578	1.08333	1.11296	1.11453	1.11193
Hafif Nafta	48.17720	44.68573	1.07328	1.07349	1.07565	1.07301
Orta Nafta	47.59676	44.25804	1.07160	1.07162	1.07385	1.07131
Ağır Nafta	46.76756	43.64706	1.06923	1.06901	1.07132	1.06893
Nafta#1	45.66945	42.83263	1.06626	1.06574	1.06820	1.06600
Nafta#2	45.91075	42.95172	1.06769	1.06757	1.07001	1.06773
Whiterocks Katranı	43.58772	41.14369	1.06269	1.06179	1.06507	1.06308
Asphalt Ridge Katranı	44.02866	41.49734	1.06351	1.06269	1.06593	1.06389
RP Spring Katranı	43.70706	41.24121	1.06289	1.06201	1.06528	1.06327
Sunnyside Katranı	43.07220	40.71546	1.06195	1.06097	1.06485	1.06290
Kok Katranı	38.58194	37.38175	1.05086	1.04910	1.05372	1.05246
Kömür Katranı	37.53610	36.4952	1.04952	1.04794	1.05185	1.05070
Odun Katranı	32.84454	31.43486	1.05505	1.06150	1.06422	1.06292
Kömür Su Bulamacı	17.91763	16.11297	1.07797	1.13590	1.14395	1.14231

Tablo 22'nin devamı

Orimülsiyon	42.61024	40.2535	1.06253	1.06162	1.07174	1.06965
Standart Benzin	46.79659	43.66517	1.06937	1.06916	1.07155	1.06915
Uçak benzini	47.26508	44.01364	1.07064	1.07057	1.07283	1.07036
Motor Benzini	46.82562	43.68329	1.06950	1.06931	1.07177	1.06937
JP-4	46.75927	43.64095	1.06921	1.06899	1.07130	1.06891
JP-5	45.89690	43.00552	1.06681	1.06634	1.06873	1.06649
JP-7	47.17387	43.94644	1.07038	1.07029	1.07255	1.07009
JP-8	46.29492	43.29879	1.06791	1.06755	1.06991	1.06760
Kerosen	46.57686	43.50000	1.06880	1.06854	1.07103	1.06866
Petrolde Kerosen	46.37983	43.30297	1.06896	1.06887	1.07152	1.06915
Dizel Yakıt	45.75071	42.87024	1.06679	1.06631	1.06870	1.06647
ASTM No. 2D Diesel	45.46510	42.68065	1.06572	1.06513	1.06756	1.06539
Straightrun Dizel (SRD)	45.91764	43.01753	1.06691	1.06646	1.06893	1.06669
Atık Yemelik Yağdan Ticari Biyodizel	40.69192	38.01876	1.06752	1.07238	1.07470	1.07254

Tablo 22'nin devamı

Deniz Balığı Yağından Biyodizel	42.21062	39.42835	1.06794	1.07142	1.07373	1.07152
No.1 Fuel Oil	45.27516	42.48198	1.06608	1.06553	1.06972	1.06750
No.2 Fuel Oil	44.15614	41.49389	1.06543	1.06482	1.07367	1.07142
No.3 Fuel Oil	43.67530	41.10034	1.06468	1.06398	1.07407	1.07186
No.4 Fuel Oil	43.30224	40.79274	1.06412	1.06337	1.07451	1.07231
No.5 Fuel Oil	42.57200	40.47712	1.05907	1.05779	1.06276	1.06097
No.6 Fuel Oil (Düşük Sülfürlü)	43.04688	40.74687	1.06122	1.06048	1.06467	1.06277
No.6 Fuel Oil (Yüksek Sülfürlü)	42.82334	40.41858	1.06299	1.06232	1.07240	1.07030
Ağır Fuel Oil	43.52632	41.03646	1.06352	1.06280	1.07054	1.06843
Ağır Fuel Oil-1	41.24544	39.06327	1.06103	1.06077	1.06968	1.06773
Ağır Fuel Oil-2	41.46959	39.25469	1.06136	1.06093	1.07060	1.06861
Ağır Fuel Oil-3	44.10468	41.33332	1.06664	1.06676	1.07041	1.06818
Ağır Fuel Oil-4	45.68142	42.80095	1.06691	1.06645	1.07006	1.06780

Tablo 22'nin devamı

Light Cycle oil (LCO)	42.61272	40.46546	1.05961	1.05869	1.06265	1.06085
Light Cooker Gas Oil (LCGO)	44.61524	41.87006	1.06594	1.06580	1.07075	1.06854
Fisher-Tropsch Oil (FT)	47.43921	44.14195	1.07114	1.07112	1.07336	1.07086
Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	43.62605	40.89834	1.06650	1.06719	1.07378	1.07154
Atık Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	46.24537	42.95029	1.07224	1.07342	1.07694	1.07438
Colorado Şist Yağı	43.13456	40.62506	1.06384	1.06346	1.06709	1.06504
Kukersite, Estonya Şist Yağı	39.14311	37.13551	1.05965	1.06193	1.06630	1.06456
Stuart. Avustralya Şist Yağı	43.18772	40.48183	1.06633	1.06753	1.07111	1.06893
Rundle. Avustralya Şist Yağı	40.54432	38.03482	1.06542	1.06888	1.07207	1.07001
İrati. Brezilya Şist Yağı	43.41840	40.79979	1.06503	1.06536	1.06906	1.06694
Moaming. Çin Şist Yağı	42.84743	40.35976	1.06366	1.06397	1.06736	1.06533
Fushun. Çin Şist Yağı	44.01698	41.37873	1.06489	1.06458	1.06802	1.06590
Kashpir. Rusya Şist Yağı	39.26347	37.27769	1.06007	1.06001	1.07883	1.07679
Soya Yağı	36.58204	34.26894	1.06541	1.07304	1.07541	1.07346

Tablo 22'nin devamı

Kullanılmış Yağ	44.82943	42.02971	1.06644	1.06647	1.07031	1.06809
Kullanılmış Yemeklik Yağ	39.19622	36.6649	1.06659	1.07263	1.07503	1.07296
Petrol Çamuru	33.74194	31.82163	1.06175	1.06922	1.07171	1.06999
Yağlı Boya	40.76546	38.25378	1.06533	1.06802	1.07043	1.06837
LBL Odunsu Yağ	33.98893	32.08826	1.06100	1.07029	1.07281	1.07119
BOM Odunsu Yağ	37.80661	35.89721	1.05902	1.06252	1.06514	1.06350
Çam Bio-oil	29.91297	27.38165	1.07608	1.10108	1.10294	1.10070
Çam Talaş Bio-oil	16.90481	15.59769	1.06439	1.11352	1.11555	1.11465
Meşe Bio-oil	23.75300	22.11637	1.06439	1.09388	1.09609	1.09472
Buğday Samanı Bio-oil	26.17353	24.34051	1.06593	1.09133	1.09352	1.09196
Arpa Samanı Bio-oil	26.71607	24.62119	1.07071	1.09843	1.10044	1.09862
Okaliptüs Bio-oil	25.55519	23.76581	1.06568	1.09218	1.09437	1.09285

Tablo 23. Sıvı yakıtların e_{DAF}^{CH} , $(e_{DAF}^{CH})_1$, $(e_{DAF}^{CH})_2$, $(e_{DAF}^{CH})_3$, $(e_{DAF}^{CH})_4$ ve $(e_{DAF}^{CH})_5$ değerleri (MJ/kg)

Yakıt Adı	e_{DAF}^{CH}	$(e_{DAF}^{CH})_1$	$(e_{DAF}^{CH})_2$	$(e_{DAF}^{CH})_3$	$(e_{DAF}^{CH})_4$	$(e_{DAF}^{CH})_5$
Ham Petrol	36.44878	36.71619	36.67759	36.85530	36.82026	36.78986
Irak Ağır Petrol	41.60738	41.21555	41.17905	41.93557	41.84965	41.19120
Kanada Ağır Petrol	42.02946	41.97449	41.95790	42.39933	42.31828	41.97323
Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)	53.86276	54.55325	54.68088	54.74951	54.54776	53.74882
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	48.94539	49.38440	49.41573	49.50761	49.37352	49.10525
Propan	42.63718	42.99480	42.97407	43.07102	42.98196	42.93900
Bütan	48.56140	48.98988	49.01489	49.10818	48.97867	48.74024
n-Pentan	48.14023	48.55844	48.57669	48.67147	48.54686	48.33945
n-Oktan	47.47939	47.88407	47.89207	47.98906	47.87195	47.70963
n-Eicosane, $C_{20}H_{42}$	46.79739	47.19121	47.18909	47.28821	47.17857	47.05834
Benzen	41.42981	41.82622	41.75888	41.86987	41.81042	41.87668
n-Oktıl Benzen, $C_{14}H_{22}$	44.31470	44.69265	44.65730	44.76296	44.67833	44.67506
Metanol	22.84201	21.87063	23.05622	23.07243	23.01622	22.10125

Tablo 23'ün devamı

Etanol	29.91965	29.36460	30.16768	30.21013	30.13985	29.50430
Hafif Nafta	47.55442	47.96048	47.96962	48.06637	47.94842	47.78120
Orta Nafta	47.02956	47.42673	47.42800	47.52642	47.41426	47.28021
Ağır Nafta	46.28123	46.66883	46.65933	46.75998	46.65580	46.56451
Nafta#1	45.29380	45.67062	45.64846	45.75389	45.65959	45.61327
Nafta#2	45.49461	45.85927	45.85390	45.95885	45.86067	45.78557
Whiterocks Katranı	43.40394	43.72298	43.68600	43.82082	43.73895	43.71064
Asphalt Ridge Katranı	43.80877	44.13264	44.09886	44.23328	44.14861	44.11086
RP Spring Katranı	43.51412	43.83475	43.79852	43.93328	43.85071	43.82019
Sunnyside Katranı	42.95038	43.23778	43.19804	43.35599	43.27649	43.23281
Kok Katranı	38.97382	39.28291	39.21707	39.38992	39.34278	39.34677
Kömür Katranı	37.97859	38.30226	38.24492	38.38753	38.34534	38.37066
Odun Katranı	33.19051	33.16530	33.36804	33.45375	33.41263	33.33647
Kömür Su Bulamacı	18.61125	17.36936	18.30280	18.43245	18.40601	17.80654

Tablo 23'ün devamı

Orimülsiyon	42.76134	42.77060	42.73374	43.14114	43.05722	42.75285
Standart Benzin	46.31047	46.69404	46.68515	46.78930	46.68467	46.58736
Uçak benzini	46.73001	47.12293	47.11983	47.21916	47.11023	46.99393
Motor Benzini	46.33972	46.71927	46.71098	46.81863	46.71355	46.61021
JP-4	46.27375	46.66127	46.65168	46.75234	46.64825	46.55735
JP-5	45.49745	45.87866	45.85845	45.96123	45.86509	45.81303
JP-7	46.64769	47.03953	47.03525	47.13482	47.02678	46.91520
JP-8	45.85549	46.23918	46.22379	46.32562	46.22585	46.15656
Kerosen	46.11551	46.49274	46.48131	46.58964	46.48690	46.39550
Petrolde Kerosen	45.93045	46.28931	46.28517	46.40007	46.29740	46.19260
Dizel Yakıt	45.35332	45.73334	45.71309	45.81558	45.71981	45.66825
ASTM No. 2D Diesel	45.10722	45.48552	45.46061	45.56424	45.47173	45.43575
Straightrun Dizel (SRD)	45.51912	45.89605	45.87631	45.98269	45.88619	45.82872
Atık Yemelik Yağdan Ticari Biyodizel	40.46802	40.58595	40.77053	40.85869	40.77675	40.61483

Tablo 23'ün devamı

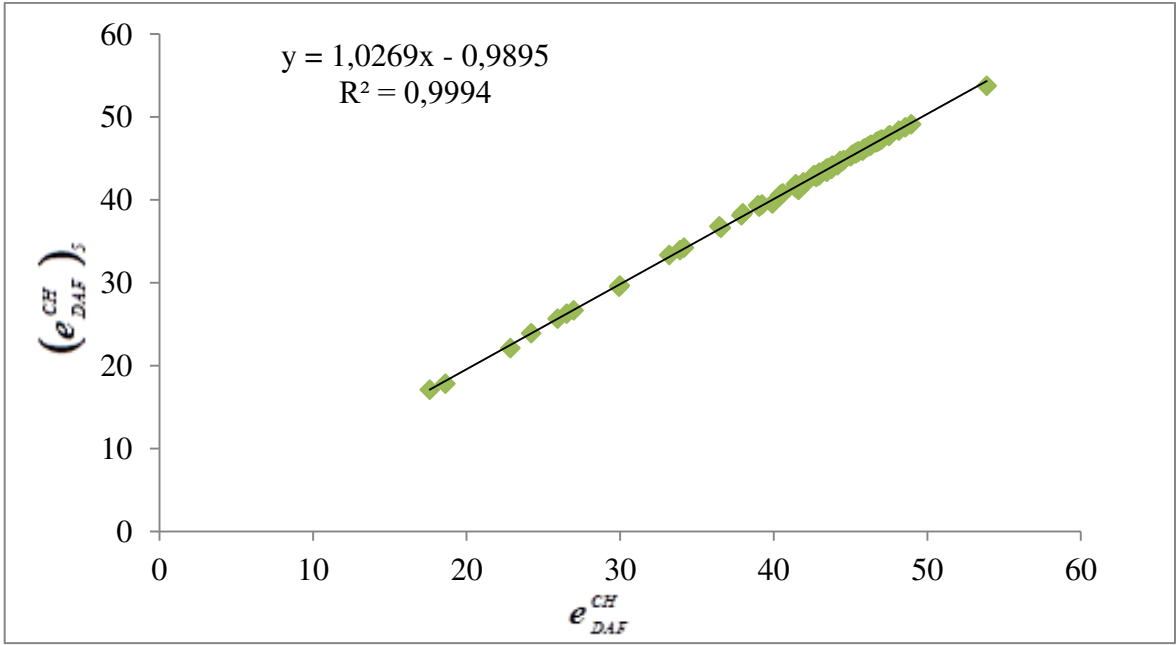
Deniz Balığı Yağından Biyodizel	41.92179	42.10727	42.24421	42.33556	42.24821	42.10362
No.1 Fuel Oil	44.99916	45.28919	45.26600	45.44384	45.34972	45.23226
No.2 Fuel Oil	44.14480	44.20896	44.18351	44.55066	44.45758	44.15609
No.3 Fuel Oil	43.74936	43.75854	43.73009	44.14482	44.05377	43.71459
No.4 Fuel Oil	43.44476	43.40836	43.37777	43.83229	43.74267	43.37053
No.5 Fuel Oil	42.59376	42.86799	42.81633	43.01734	42.94490	42.89028
No.6 Fuel Oil (Düşük Sülfürlü)	42.96085	43.24159	43.21140	43.38202	43.30441	43.25060
No.6 Fuel Oil (Yüksek Sülfürlü)	42.95795	42.96460	42.93727	43.34501	43.25981	42.94548
Ağır Fuel Oil	43.52553	43.64301	43.61374	43.93106	43.84461	43.61831
Ağır Fuel Oil-1	41.41963	41.44721	41.43700	41.78531	41.70895	41.46180
Ağır Fuel Oil-2	41.66070	41.66330	41.64647	42.02602	41.94783	41.67007
Ağır Fuel Oil-3	43.83061	44.08761	44.09267	44.24373	44.15163	44.03644
Ağır Fuel Oil-4	45.34612	45.66463	45.64495	45.79945	45.70276	45.59615

Tablo 23'ün devamı

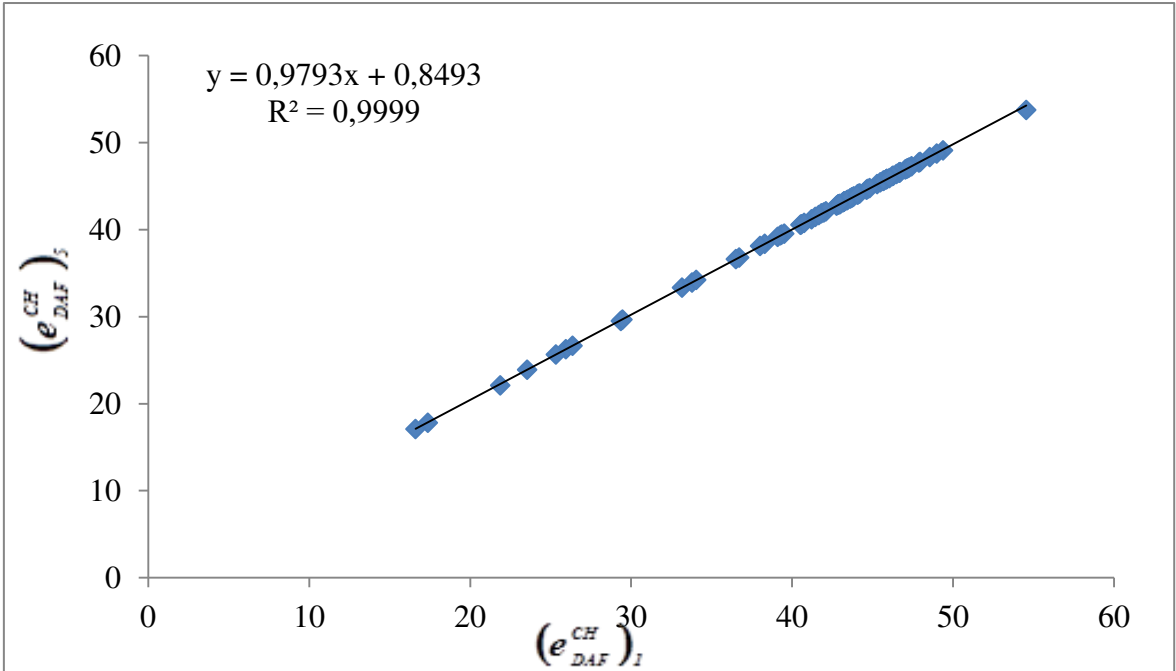
Light Cycle oil (LCO)	42.57484	42.87743	42.84027	43.00044	42.92761	42.90198
Light Cooker Gas Oil (LCGO)	44.40071	44.63106	44.62496	44.83221	44.73975	44.58403
Fisher-Tropsch Oil (FT)	46.88724	47.28232	47.28150	47.38036	47.26974	47.14423
Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	43.50877	43.61826	43.64610	43.91599	43.82403	43.57721
Atık Otomotiv Motor Yağı (Shell 10 w-40)	45.78476	46.05287	46.10385	46.25510	46.14493	45.91878
Colorado Şist Yağı	42.95345	43.21867	43.20332	43.35077	43.26717	43.20018
Kukersite, Estonya Şist Yağı	39.23243	39.35080	39.43522	39.59756	39.53315	39.43085
Stuart. Avustralya Şist Yağı	42.95116	43.16692	43.21546	43.36063	43.27231	43.14282
Rundle. Avustralya Şist Yağı	40.40388	40.52311	40.65451	40.77617	40.69767	40.55588
Irati. Brezilya Şist Yağı	43.20600	43.45284	43.46646	43.61732	43.53086	43.43144
Moaming. Çin Şist Yağı	42.67190	42.92915	42.94152	43.07834	42.99655	42.92732
Fushun. Çin Şist Yağı	43.77420	44.06400	44.05095	44.19325	44.10543	44.03168
Kashpir. Rusya Şist Yağı	39.90408	39.51696	39.51482	40.21647	40.14019	39.53571
Soya Yağı	36.54970	36.51061	36.77210	36.85317	36.78626	36.61310

Tablo 23'ün devamı

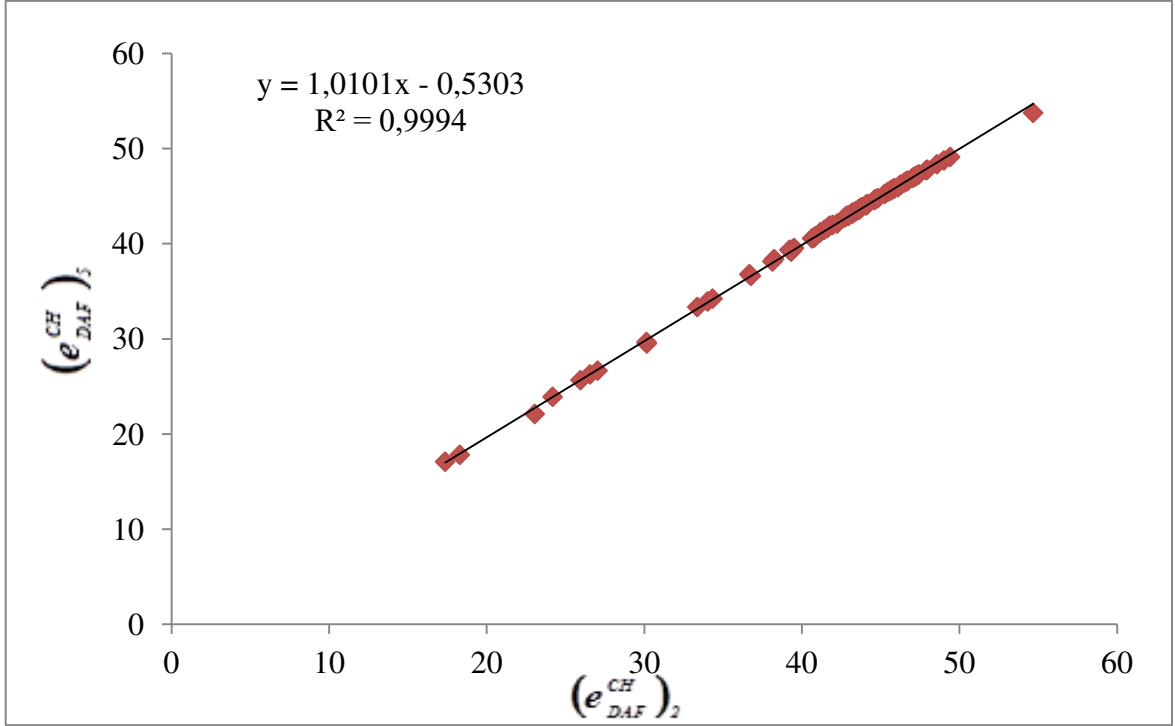
Kullanılmış Yağ	44.54519	44.82214	44.82345	44.98485	44.89153	44.77192
Kullanılmış Yemeklik Yağ	39.04929	39.10624	39.32775	39.41572	39.33993	39.16980
Petrol Çamuru	33.88571	33.78657	34.02422	34.10349	34.04880	33.91958
Yağlı Boya	40.58302	40.75282	40.85575	40.94802	40.86905	40.77322
LBL Odunsu Yağ	34.14668	34.04576	34.34373	34.42469	34.37246	34.22100
BOM Odunsu Yağ	37.88555	38.01594	38.14150	38.23549	38.17676	38.12347
Çam Bio-oil	29.96776	29.46486	30.14948	30.20019	30.13907	29.66107
Çam Talaş Bio-oil	17.59630	16.60206	17.36829	17.40002	17.38596	17.08502
Meşe Bio-oil	24.20057	23.54040	24.19262	24.24144	24.21121	23.89935
Buğday Samanı Bio-oil	26.50997	25.94532	26.56348	26.61682	26.57874	26.25843
Arpa Samanı Bio-oil	26.96313	26.36227	27.04469	27.09416	27.04936	26.65377
Okaliptüs Bio-oil	25.91794	25.32677	25.95655	26.00860	25.97243	25.65179



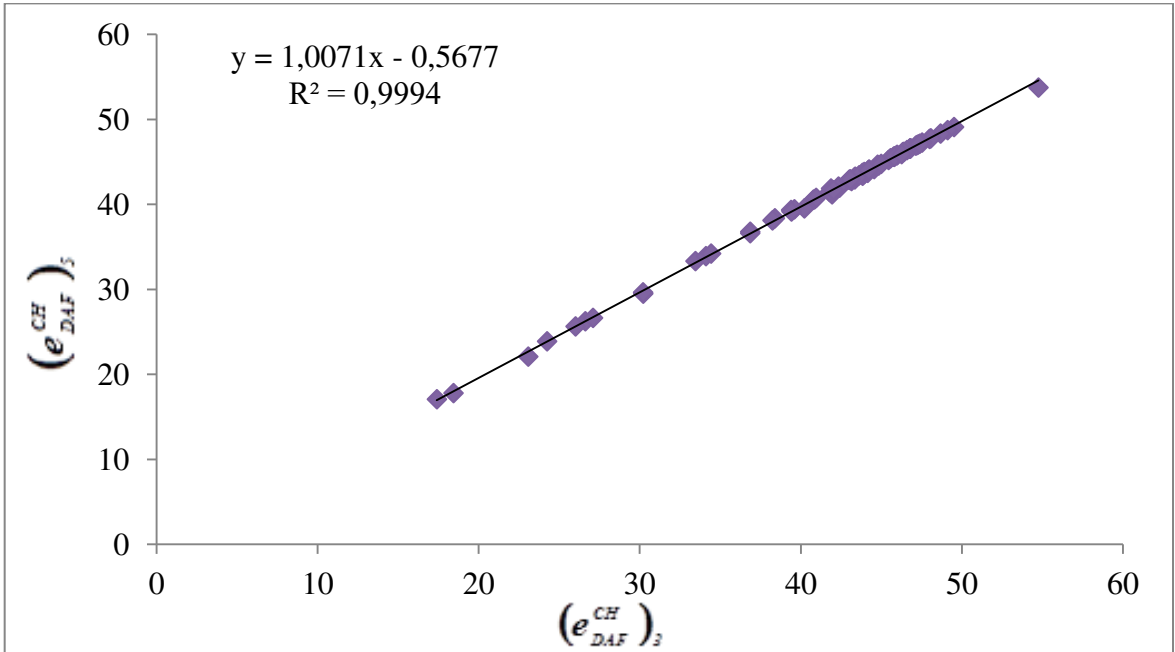
Şekil 9. $(e^{\text{CH}})_5$ ile $e^{\text{CH}}_{\text{DAF}}$ arasındaki korelasyon



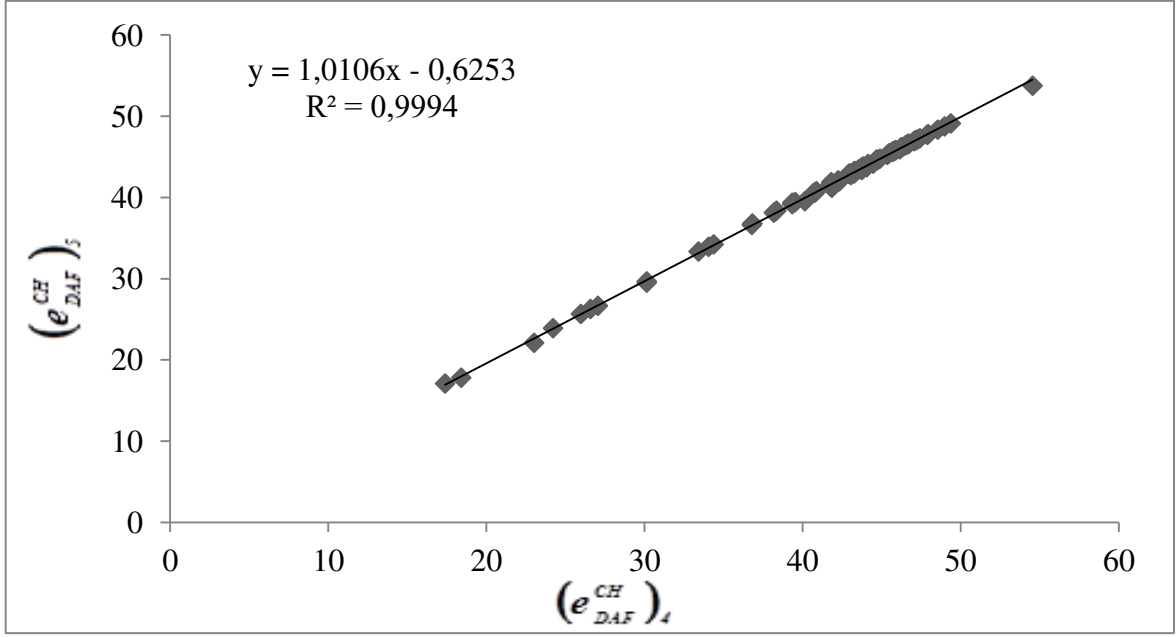
Şekil 10. $(e^{\text{CH}})_5$ ile $(e^{\text{CH}})_1$ arasındaki korelasyon



Şekil 11. $(e^{\text{CH}})_5$ ile $(e^{\text{CH}})_2$ arasındaki korelasyon



Şekil 12. $(e^{\text{CH}})_5$ ile $(e^{\text{CH}})_3$ arasındaki korelasyon



Şekil 13. $(e^{CH})_5$ ile $(e^{CH})_4$ arasındaki korelasyon

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, 80 farklı sıvı yakıtın kimyasal ekserji değerleri 6 farklı formül kullanılarak hesaplanmıştır. Kimyasal ekserji değerlerinin hesaplanması için gerekli olan % C, H, O, N ve S değerleri literatürden alınmış olup veriler Tablo 16’da sunulmuştur.

Tablo 16 incelendiğinde, hesapladığımız sıvı yakıtlar arasında en yüksek kimyasal ekserji değerine sahip (53.86276 MJ/kg) sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) karbon yüzdesinin 75.57; hidrojen yüzdesinin 24.37 ve azot yüzdesinin ise 0.06 olduğu görülür. Bu veriler doğrultusunda, sıvılaştırılmış doğal gazın bu çalışmada incelenen 80 farklı sıvı yakıt arasında en yüksek kimyasal ekserji değerine sahip olmasının sebebi; yapısındaki karbon ve hidrojen yüzdesinin toplamının % 99.94 olmasıyla açıklanabilir. Bilindiği üzere, karbon ve hidrojen yüzdelerinin yüksek olması kimyasal ekserji değerlerine pozitif yönde katkıda bulunur. Bununla birlikte, sıvılaştırılmış doğal gazın kimyasal ekserjiye genellikle azaltıcı etki yapan oksijeni bünyesinde bulundurmaması da onun kimyasal ekserji değerinin yüksek olmasında bir etken olarak görülmektedir.

İncelediğimiz sıvı yakıtlar içerisinde çam talaş bio-oil 17.59630 MJ/kg değeri ile kimyasal ekserjisi en düşük yakıttır. Diğer sıvı yakıtlar ile kıyaslandığında çam talaş bio-oil’in karbon ve hidrojen yüzdesinin düşük (% 43.20 C ve % 5.99 H), oksijen yüzdesinin ise yüksek olması (% 50.59 O) kimyasal ekserji değerinin düşük olmasının nedeni olarak göze çarpmaktadır. Sıvı yakıtlara ait hesaplanan ekserji değerleri genel olarak göstermiştir ki; % C değeri ne kadar yüksek olursa kimyasal ekserji o kadar yüksek, % C değeri ne kadar düşük olursa kimyasal ekserji o kadar düşük olmaktadır.

Tablo 21’de, Eşitlik 28’ de sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerlerini hesaplamak için gerekli olan s_{DAF} (Eşitlik 30 kullanarak hesaplanır) ve v_{CO_2} , v_{H_2O} , v_{SO_2} , v_{N_2} , v_{O_2} (Eşitlik 27 kullanarak hesaplanır) değerleri yer almaktadır. Bu değerlerin yakıtın kimyasal ekserji değerlerine pozitif veya negatif yönde etki yaptığı konusunda yorum yapmak elde edilen sonuçlara bakıldığında pek mümkün görülmemektedir.

Bir yanma tepkimesinde oluşan suyun sıvı fazında olması durumunda açığa çıkan ısı enerjisi olarak tanımlanan üst ısı değerlerine (HHV) ve bir yanma tepkimesinde oluşan suyun buhar fazında olması durumunda açığa çıkan ısı enerjisi olarak tanımlanan alt ısı değerlerine (LHV) Tablo 22’de yer verilmiştir.

Tablo 22’de $(e_{DAF}^{CH})_1$, $(e_{DAF}^{CH})_2$, $(e_{DAF}^{CH})_3$ ve $(e_{DAF}^{CH})_4$ kimyasal ekserji değerlerinin hesaplanması için gerekli olan ve Eşitlik 34, 35, 36 ve 37 kullanılarak hesaplanan β_1 , β_2 , β_3 , ve β_4 değerleri de sunulmuştur.

Üst ısı değerleri incelendiğinde, genel olarak üst ısı değeri yüksek olan sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerlerinin yüksek, üst ısı değeri düşük olan sıvı yakıtların ise kimyasal ekserji değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Örneğin; en yüksek kimyasal ekserji değerine sahip sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) 55.09575 MJ/kg ile en yüksek üst ısı değerine, en düşük kimyasal ekserji değerine sahip çam talaş bio-oil 16.90481 MJ/kg ile en düşük üst ısı değerine sahiptir.

Tablo 22’de verilen alt ısı değerlerine (LHV) bakıldığında da görülüyor ki bu çalışmada incelenen sıvı yakıtlarda, alt ısı değeri ne kadar düşük ise hesaplanan kimyasal ekserji değeri de o kadar düşük, alt ısı değeri ne kadar yüksek ise hesaplanan kimyasal ekserji değeri de o kadar yüksek olmaktadır. Hesaplanan veriler incelendiğinde, en düşük alt ısı değerine (15.59769 MJ/kg) sahip olan çam talaş bio-oil’in kimyasal ekserji değeri en düşük, en yüksek alt ısı değerine (49.77780 MJ/kg) sahip olan sıvılaştırılmış doğal gazın kimyasal ekserji değerinin ise en yüksek olduğu görülmektedir.

Eşitlik 38 kullanılarak hesaplanan LHV değerleri ile Eşitlik 34, 35, 36 ve 37’de yer alan β_1 , β_2 , β_3 ve β_4 değerlerinin çarpımıyla susuz ve külsüz olarak $(e_{DAF}^{CH})_1$, $(e_{DAF}^{CH})_2$, $(e_{DAF}^{CH})_3$ ve $(e_{DAF}^{CH})_4$ kimyasal ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bu tez çalışması için türetmiş olduğumuz yeni kimyasal ekserji hesaplama formülü de dahil olmak üzere, literatürde bulunan beş farklı formülden faydalanılarak hesaplanan sıvı yakıtlara ait kimyasal ekserji değerleri Tablo 23’te verilmiştir.

Sıvı yakıtlar için kullanılabilecek olan ve bu çalışması kapsamında türetilen $(e_{DAF}^{CH})_5$ kimyasal ekserji hesaplama formülü ile e_{DAF}^{CH} , $(e_{DAF}^{CH})_1$, $(e_{DAF}^{CH})_2$, $(e_{DAF}^{CH})_3$ ve $(e_{DAF}^{CH})_4$ literatür formülleri arasında korelasyon grafikleri çizilmiş ve sırasıyla Şekil 9, 10, 11, 12 ve 13’de gösterilmiştir. Korelasyonlardaki R^2 değerleri $(e_{DAF}^{CH})_5$ ile e_{DAF}^{CH} , $(e_{DAF}^{CH})_2$, $(e_{DAF}^{CH})_3$ ve $(e_{DAF}^{CH})_4$ arasında 0,9994 iken $(e_{DAF}^{CH})_5$ ile $(e_{DAF}^{CH})_1$ arasında 0,9999 olarak bulunmuştur.

Yakıtların kimyasal ekserji değerlerini hesaplamak için bugüne kadar birçok akademik çalışma yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda çeşitli formüller türetilmiştir. Literatürde yer alan ve sıvı yakıtlar için de kullanılabilen kimyasal ekserji hesaplama formüllerinin işlem olarak birçok basamak içermesi hesap hatalarına yol açabilmektedir.

Ayrıca bu formüller ile bir sıvı yakıtın kimyasal ekserji değerini hesaplayabilmek için hem elementel analizleri yapılarak % C, % H, % O, % N, ve % S değerleri belirlenmeli hem de alt ısı ve üst ısı değerlerini belirlemek için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Bu tez çalışmasında türetmiş olduğumuz kimyasal ekserji hesaplama formülü (Eşitlik 39) ile alt ısı ve üst ısı değerlerine ihtiyaç duymadan sadece elementel analizleri yapılan sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerleri direkt olarak hesaplanabilmektedir. Literatür formüllerindeki hesaplamalarda atomik veya kütle oranları kullanılırken, Eşitlik 39'daki formülümüz ile elementel analiz ile elde edilen yüzde bileşim değerleri kullanılarak doğrudan sonuca gidilebilmektedir. Formülümüzün tek basamaklı işlemde oluşması, alt ısı ve üst ısı değerlerinin bilinmesine ihtiyaç duymaması, atomik ve kütle oranlarının hesaplanmasını gerektirmemesi sebepleriyle diğer formüllerle kıyaslandığında fazlasıyla avantaj sağlamaktadır.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada sıvı yakıtların elementel analizinden elde edilen %C, %H, %O, %S, ve %N değerleri kullanılarak literatürde verilen eşitlikler ile kimyasal ekserji değerleri hesaplanmış olup, hesaplanması kolay yeni bir formül türetilmiştir.

Çağdaş koşullarda yaşayabilme imkanı enerjiye bağlı olmakla birlikte, bu yaşamın sürdürülebilmesi göz önüne alındığında enerji talebinin eksiksiz olarak karşılanması gerekmektedir. Nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşmenin artması, teknolojinin ilerlemesi, lüks yaşam koşulları enerji tüketimini artırmaktadır. Enerji ihtiyacındaki artış, mevcut enerji kaynaklarının tükenmekte olması, yeni arayışları beraberinde getirmiştir. Bu noktada enerji ihtiyacının karşılanmasında en önemli kavram enerji kaynaklarının verimli kullanılabilmesinden geçmektedir. Çevresel kaynakların geri dönüştürülemez biçimde tüketilmesi, enerjinin verimli kullanılabilmesinin araştırılmasında önemli bir etken olmuştur. Günümüzde sürdürülebilir kalkınma için enerji kalitesinin ve verimliliğinin artırılması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Enerjinin verimli kullanılabilme noktasında ekserji kavramı devreye girmektedir. Ekserji belirli bir haldeki sistemden elde edilebilecek maksimum faydalı iş olarak ifade edilmektedir. Ekserji analizi, termodinamik olarak bir enerji sisteminin verimliliğinin değerlendirilmesinde önemli bir faktör olmakla birlikte, enerjinin ekonomik değeriyle de ilgili bir kavramdır. Enerjiyi verimli kullanabilmek için ekserji kayıplarının azaltılması, entropi üretiminin azaltılması gerekmektedir. Ekserji analizi, bir sistemdeki kayıpların gerçek büyüklüğünü ve enerji kalitesini belirlemede, verimsizlikleri azaltmada önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, sıvı yakıtların kimyasal ekserjilerini hesaplamak için yeni bir formül türetilmiştir. Bu formül sadece elementel analiz sonuçlarını kullanır. Alt ısı değeri, üst ısı değeri, atomik ve kütle oranları ile β değerlerini kullanmaz. Dolayısıyla, önerilen formül literatürdeki formüllerden daha kullanışlıdır. Bu formül sıvı yakıtların kimyasal ekserjisini, sadece elementel analiz verilerini kullanarak hesaplamada araştırmacılara faydalı olabilir.

Ülkemizin enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle, amacına göre kullanılacak sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerlerinin yüksek olması göz önüne alınarak tercih edilmesi ve bu tip yakıtlarla ilgili gerekli bilinçlendirilmenin yapılması bu yakıtların verimli olarak kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

Termodinamiğin birinci kanununa göre enerji korunur, fakat bu esnada yüksek kaliteli bir enerjinin düşük kaliteli bir enerjiye çevrilmesi sonucunda önemli ölçüde bir enerji kaybı meydana gelir ki, birinci kanun bu kaybı açıklayamamaktadır. Bu önemli kayıp, termodinamiğin ikinci kanunu ve ekserji kavramıyla açıklanabilmektedir. Bundan dolayı sıvı yakıtların kimyasal ekserji değerleri, termodinamik yönden enerji üretim tesislerinin ve yakıtların iyileştirilmesi imkanlarını belirleyip değerlendirmek için kullanılabilir.

8. KAYNAKLAR

- Ahem, J.E., 1980. The Exergy Method of Energy System, John Wiley & Sons, Inc., Toronto.
- Alsheyap, A.T.M., Schingnitz, D., Al-Shawabkeh, A.F. and Kusch, S., 2013. Analysis of the Potential Use of Major Refuse-Derived Fuels in Jordan as Supplementary Fuel, Journal of the Air & Waste Management Association, 63, 902-908.
- Ar, F.F., 2007. İkinci Kuşak Biyoyakıtlar-Biyorafineriler, Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu, Aralık, Ankara, TMMOB Yayınları Bildiriler Kitabı: 195- 202.
- Arslan, S., Darıcı, M. ve Karahan, Ç., 2001. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Semineri, Ankara, TMMOB Yayın No: 270, 21-28.
- Atalay, Ö., 2004. Jeotermal Sistemlerin Ekserji Analizi: Kızıldere Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Ayyıldız, L.M., 2014. Hızlı Piroлиз Yöntemi ile Biyokütleden Elde Edilen Sıvı Ürünlerin Kimyasal Ekserjilerinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bejan A, Tsatsaronis G. and Moran M., 1996. Thermal Design and Optimization, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bejan, A., 2006. Advanced Engineering Thermodynamic, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Beşergil, B., 2007. Ham Petrolden Kimyasallara El Kitabı, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Bilgen, S., 2000. Bazı Yakıtların Kimyasal Ekserji Değerlerinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bilgen, S., 2006. Bazı Kimyasal Proseslerin Ekserji Değerlerinin Hesaplanması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Biller, P., Riley, R. and Ross, A.B., 2011. Catalytic Hydrothermal Processing of Microalgae; Decomposition and Upgrading of Lipids, Elsevier, 102, 4841-4848.
- Channiwala, S.A. and Parikh, P.P., 2001. A Unified Correlation for Estimating HHV of Solid, Liquid and Gaseous Fuels, Elsevier, 81, 1051-1063.
- Chen, G., Yao, J., Liu, J., Yan, B. and Shan, R., 2015. Biomass to Hydrogen-Rich Syngas Via Catalytic Steam Gasification of Bio-Oil, Biochar Slurry, Elsevier, 198, 108-114.

- Cook, A.C. and Edwards, G.E., 1971. Vitritine Content and Coke Strength, Elsevier, 50, 41-52.
- Cox, M., Nugteren, H. and Jurkovicova, M.J., 2008. Combustion Residues; Current, Novel and Renewable Applications, John Willey & Sons, Inc., Chicester.
- Çengel, Y.A. ve Boles, M.A., 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Derbentli, T., Literatür Yayınevi, İstanbul, 867.
- Çengel, Y.A., Wood, B. and Dincer, I., 2002. Is Bigger Thermodynamically Better?, Elsevier, 2, 62-68.
- Çit, İ., 2007. Polimerlerin Kömür Pirolizine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ç.Ş.B., 2012. Petrol Rafinerileri İçin MET Kılavuzu, Eşleştirme Projesi TR 08 IB EN 03, Ankara, 20-25.
- Çukurçayır, M.A. ve Sağır, H., 2008. Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20, 257-278.
- D.E.K.-T.M.K., 2014. Enerji Raporu 2013, ISSN: 1301-6318, 22, Ankara, 5-89.
- Dillon, H.S., Laan, T. And Dillon, H.S., 2008. Biofuels-At What Costs?, Government Support for Ethanol and Biodiesel in Indonesia, The Global Subsidies Initiative of the International Institute for Sustainable Development, Geneva.
- Diğer, İ., 2002. The Role of Exergy in Energy Policy Making, Elsevier, 30, 137-149.
- Doğan, B., 2010. Enerji Tüketimi-Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği 1980 - 2008, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Edwards, J.H., Galbally, I.E., Meyer, C.P. and Weeks, I.A., 1996. Lifecycle Emissions and Energy Analysis of LNG, Oil and Coal, Woodside Petroleum Pty Ltd, Aspendela.
- Eken, S., 2007. Seyitömer Linyiti ve Çam Kabuğunun Ortak Pirolizinden Elde Edilen Katların Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- E.T.K.B., 2015. Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Sayı: 9, Ankara, 2-11.
- Erduranlı, P., 1997. Enerji Santraline Ekserji Analizinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Erşahan, H. ve Sara, O.N., 1996. Kömürlerin Flash Pirolizi ve Kullanılan Deneysel Teknikler, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, 53-68.

- Erwin, J., 1992. Assay of Diesel Fuel Components Properties and Performance, Symposium on Processing and Product Selectivity of Synthetic, August, Washington, 1915-1923.
- Eryener, D., 2003. Türbülanslı Cebri Konveksiyonla Isı Geçişi Sağlayan Isıl Sistemlerin Ekserji Ekonomik Analizi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Gaur, S. and Reed, T.B., 1998. Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels, Marcel Dekker, New York.
- Gerçel, H.F., 1997. Euphorbia Rigida ve Ayçiçeği Küspesinin Hızlı Pirolyzi ve Hidropirolyzi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Gezer, B., 2009. Mersin İli Çelebili Köyü İçmeler Mevkiinde Yüzeyleyen Kireçtaşlarının Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Guo, H.S., 2009. Coal, Oil Shale, Naturel Bitümen, Heavy Oil and Peat, Vol. 2, The Chemistry of Shale Oil and Its Refinings, Eolss Publishers Company Limited, Oxford.
- Guthrie, V.B., 1960. Petroleum Products Handbook, McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Gülcü, Y., 2010. Isparta İlinde Doğalgaz Kullanımını Etkileyen Sosyo-Ekonomik Faktörlerin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Gültekin, A.H. ve Örgün, Y., 1993. Doğalgaz ve Çevre, Çevre Dergisi, 9, 37-41.
- Gürüz, K., 1986. Kimya Mühendisliği Termodinamiği, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Hans, L., 2009. Coal, Oil Shale, Naturel Bitümen, Heavy Oil and Peat, Vol. 2, Chemicals and Other Products from Shale Oil, Eolss Publishers Company Limited, Oxford.
- Hayta, U., 2010. Linyit - Bitümlü Şist Karışımlarının Pirolyzi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hepbaşlı, A., 2008. Endüstriyel İşletmelerde Ekserji Yönetim Sisteminin Kurulması Gerekli mi?, Termodinamik Dergisi, 190, 64-82.
- Iwasaki, W., 2003. A Consideration of The Economic Efficiency of Hydrogen Production From Biomass, International Journal of Hydrogen Energy, 28, 939-944.

- Jechura J., Refinery Feedstock & Products-Properties & Specifications, http://inside.mines.edu/~jjechura/Refining/02_Feedstocks_&_Products.pdf, 19 Aralık 2015.
- Kaushik, S.C. and Singh, O.K, 2013. Estimation of Chemical Exergy of Solid, Liquid and Gaseous Fuels Used in Thermal Power Plants, Springer, 115, 903-908.
- Koçak, A., 2001. Türkiye’de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli, 3.TMMOB Enerji Sempozyumu, Aralık, Ankara, Bildiri Kitabı: 293-304.
- Koçaslan, G., 2006. Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Alternatif bir Kaynak Olarak Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Koruyucu, F., 2003. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Euphorbia Macroclada’nın Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kutlu, E., 2007. Petrol Türevi Sıvı Yakıtlara İlişkin Kimyasal Ekserji Hesaplamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuzoluk, E., 2014. Farklı Miktar ve Özellikteki Kömür Yığınlarının Kendiliğinden Yanma Davranışları Önlenmesi ve Önceden Tespit Edilmesine Bir Örnek; Çayırhan Kömür Stokları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Lam, S.S., Russel, A.D., Lee, C.L. and Chase, H.A., 2012. Microwave-heated Prolysis of Waste Automotive Engine Oil: Influence of Operation Parameters on the Yield, Compositions and Fuel Properties of Prolysis Oil, Elsevier, 92, 327-339.
- Lin, C.Y. and Li, R.J., 2009. Engine Performance and Emission Characteristics of Marine Fish-Oil Biodiesel Produced From The Discarded Parts of Marine Fish, Elsevier, 90, 883-888.
- Masudi, H. and Samudrala, S., 1996. Combustion Analysis of Coal-Water Slurry Fuel Prepared From Plant Coal and Recovered Coal Fines, Energy Research and Development Technology Transfer Symposium, Greensboro, Bildiriler Kitabı: 1-7.
- Mazman, M., 2006. Gizli Isı Depolaması ve Uygulamaları, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Mcketta, J.J. and Cunningham W.A., 1979. Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Metz, B., Davidson, O., Coninck, H.D., Loos M., and Meyer L., 2005. Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, New York.

- Morvay, Z.K. and Gvozdenac, D.D., 2008. Applied Industrial Energy and Environmental Management, John Wiley & Sons, Inc., Chichester.
- Özdemir, C., 2006. Doğalgazla İlgili Merak Edilenler, Anadolu İş Dünyası Dergisi, 12, 9.
- Öztürk İ. ve Karbuz, S., 2006. Türkiye'nin Enerji Ekonomisi ve Petrolün Geleceği, MÜSİAD Araştırma Raporları: 49, Şubat, İstanbul, 49-122.
- Peninger, A., Lezsovits, F., Rohaly, J. and Wolff, V., Combustion Heat Engines and Boilers, ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Heat_Engines/Lecture_Notes/BOILERS.pdf, 28 Kasım 2015.
- Pfeiffer, F., Struschka, M., Baumbach, G., Hagenmaier, H. and Hein, K.R.G., 2000. PCDD/PCDF Emissions From Small Firing Systems in Households, Elsevier, 40, 225-232.
- Potter, T.L. and Simmons, K.E., 1998. Composition of Petroleum Mixtures, Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Amherst Scientific Publishers, Massachusetts.
- Rant, Z., 1964. Exergy and Energy, Wiss. Z. Tech. Univ., Dresden., 13, 1145–1149.
- Rivero, R., Montero, G. and Garfias, M., 2002. The Effect of Environmental Temperature on The Chemical Exergy of Hydrocarbons, ECOS, 1, 69-78.
- Satman, A., Dünyada Enerji Kaynakları, 2006. Dünyada Enerji Kaynakları, Türkiye'de 1. Enerji ve Kalkınma Sempozyumu, Nisan, İstanbul, TASAM Yayınları, 47.
- Sato, N., 2004. Chemical Energy and Exergy: An Introduction to Chemical Thermodynamics, First Edition, Elsevier Science & Technology Books, New York.
- Sinor, J.E., 2001. Investigation of Byproduct Application to Jet Fuel, Consultant Inc., Colorado.
- Subramanian M., Deo, M.D. and Hanson, F.V., 1996. Compositional Analysis of Bitumen and Bitumen-Derived Products, Journal of Chromatographik Science, 34, 20-26.
- Speight, J.G., 2001. Handbook of Petroleum Products Analysis, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Stefanidis, S.D., Heracleous E., Patiaka D.T., Kalogiannis, K.G., Michailof, C.M. and Lappas, A.A., 2015. Optimization Bio-Oil Yields by Demineralization of Low Quality Biomass, Elsevier, 83, 105-115.
- Steiner, H., 1961. Introduction to Petroleum Chemicals, Pergamon Press, New York.

- Szargut, J., Morris, R.D. and Frank, R.S., 1988. Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Szargut J., 2005. Exergy Analysis: Technical and Ecological Applications, WIT Press, New York, 19-54.
- Şensöz, S., 1994. Bitümlü Şist ve Linyitlerden Birlikte Piroлиз Yöntemiyle Sentetik Yakıt Eldesi, Doktora Tezi, O.G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Taflan, S.H. , 2003. Dünya ve Türkiye’deki Mevcut ve Alternatif Enerji Kaynakları ve Politikaları, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Tekeş, A.T., 2007. Katı Yakıtların Şişme Özelliklerinin İncelenmesi ve Sıvılaştırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tetik, T., 2011. Doğalgaz Yakıtlı Bireysel Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Topaç, B., 2008. Kimyasal Ekserji Hesaplama Yöntemlerinin Petrol Türevi Hafif Yakıtlara Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tsatsaronis, G., 2008. Recent Developments in Exergy Analysis and Exergoeconomics, International Journal of Exergy, 5, 489-499.
- URL-1, <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=RO6m%C3%BCr+Nedir-.pdf>, Kömür Nedir?, 8 Ekim 2015.
- URL-2, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/0KontrolTestleri.pdf, Fiziksel Kontrol Testleri, 6 Ekim 2015.
- URL-3, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Naftniteleri.pdf, Nafta ve Kerosen Meroks Üniteleri, 6 Ekim 2015.
- URL-4, <http://www.haberler.com/manisa-da-80-bin-litre-kacak-haberi/>, 27 Ocak 2016.
- URL-5, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrojen-Enerjisi>, 6 Ekim 2015.
- URL-6, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>, Rüzgar, 8 Ekim 2015.
- URL-7, http://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0%C3%A7_enerji, İç Enerji, 5 Ekim 2015.
- URL-8, http://www.bayar.edu.tr/besergil/3_enerji_ve_entalpi.pdf, Enerji ve Entalpi, 4 Ekim 2015.
- URL-9, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Entalpi>, Entalpi, 3 Ekim 2015.

- URL-10, <http://www.afrox.co.za/internet.global.corp.zaf/en/images/Section.pdf>, Liquefied Petroleum Gas, 23 Kasım 2015.
- Uzun, D., 2002. Linyit Özellikleri, Piroliz ve Yakma Koşullarının Kükürtlü Bileşiklerin Davranışlarına Etkisi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Varınca, K.B. ve Gönüllü, M.T., 2006. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Haziran, Eskişehir, 130, Bildiriler Kitabı: 270-275.
- Yılbaşı, Z., 2007. Bir Dizel Motorun Performansının Ekserji Analizi İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Yüncü, H., 2010. Ekserji Analizi İkinci Kanun Verimi & Termoekonomi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayını, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Ankara’ da doğdu, ilkokulu Mimar Kemal İlkokulu Ankara’da okudu. Orta öğrenimini Prof. İhsan Koz İlköğretim Okulu ve lise öğrenimini Trabzon Fatih Lisesi’nde tamamladı. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü’nü kazandı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü’nü bitirerek 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Şuan özel bir şirkette iş güvenliği uzmanı olarak çalışmaktadır.