

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAM PETROL DİSTİLLASYON ŞARJ FIRINININ EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Zerrakki IŞIK

(101120115)

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halit Lütfi YÜCEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Ocak 2013

OCAK-2013

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAM PETROL DİSTİLASYON ŞARJ FIRINININ EKSERJİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Zerrakki IŞIK

(101120116)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ocak 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Halit Lütfi YÜCEL (F.Ü)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü)
Doç. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü)**

OCAK-2013

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlamış olduğum bu çalışma, bir ham petrol işleme tesisinde kullanılmakta olan distilasyon şarj fırınının enerji ve ekserji analizi yapılarak, sistemin verimliliğinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmam boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. H. Lütfi YÜCEL' e, Batman Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümü hocalarıma ve TÜPRAŞ Batman Rafinerisi çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca her türlü desteklerini esirgemeyen ve hep yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Mehmet Zerrakki IŞIK
ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Ekserji.....	11
1.2.1.Ekserji Kavramının Önemi	15
1.2.2.Ekserjinin Bileşenleri	15
1.2.3.Kinetik ekserji	16
1.2.4. Potansiyel ekserji	16
1.2.5. Fiziksel ekserji	16
1.2.6. Kimyasal ekserji.....	17
1.3.Bir Akışkanın Akış Ekserjisi	17
1.4. Isıl ekserji	17
1.5. İş ekserjisi	18
1.6. Isı transferinin ekserjisi	18
1.7. Enerji, Entropi ve Ekserji Etkileşimi.....	18
1.8. Ekserji Kaybı	19
1.8.1. Kısmi olayında meydana gelen ekserji kaybı.....	21
1.8.2.Sürtünmeden Dolaylı Ekserji Kaybı.....	21
1.9. Kapalı Sistemlerde Ekserji Dengesi.....	21
1.10.Kontrol Hacimleri Ekserji Dengesi	21
1.11.Sürekli Akışlı Sistemlerin Ekserji Dengesi	22
1.12. Ekserji Verimi	22
1.12.1. Basit (Temel) Verimlilik.....	22
1.12.2. Rasyonel Verimlilik	23

1.12.3. Geçişli Ekserji ile Verimlilik	23
1.13. Petrol	24
1.13.1. Petrolün Oluşumu ve Bulunması	24
1.13.2. Petrolün Kimyasal Yapısı	27
1.13.4. Petrolün Arıtılması	29
1.13.5. Ayırma İşlemleri	33
1.14. Fırınlr (Yakıtlı Isıtıcılar)	36
1.14.1. Hava beslemesi ve Baca Gazı Temizleme	39
1.14.2. Tasarım	40
2. MATERYAL VE METOT İLE BULGULAR	43
2.1. Fırın Çalışma Sistemi	43
2.1.1. Tüp Donanımı	43
2.1.1.1. Şarj tüpleri.....	43
2.1.1.2 Buhar tüpleri	44
2.2. Yakıt Donanımı.....	44
2.2.1. Fuel oil sistemi	44
2.3. LPG Sistemi	45
2.4. Buhar Sistemi.....	45
2.4.1. Atomize Buhar	45
2.4.2 Emniyet Buharı	45
2.4.3. Temizleme Buharı.....	45
2.5. Fan Donanımı	45
2.5.1. Kütle ve Enerji Analizi.....	46
2.5.2. Fırın Enerji Analizi.....	50
2.6. Fırın Ekserji Analizi	54
3. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	66
ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Bu çalışmada TÜPRAŞ Batman Rafinerisinde kullanılmakta olan F-101 Ham petrol distilasyon şarj fırınının, enerji ve ekserji analizi yapılarak, sistemin verimliliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Endüstriyel fırınların, genel sistem verimliliğini önemli oranda etkilediği literatür çalışmalarında ortaya konulmuştur. Rafinerideki F-101 fırını verimi %88 olarak belirtildiğinden, sistem incelemeye değer bulunmuştur.

Analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde; fırın enerji verimi %80, ekserji verimi %60 olarak tespit edilmiştir. Fırın baca gazı atık ısısı, distilasyon kolonu için gerekli olan kızgın buhar elde etme prosesinde kullanılarak, %4'lük ek verim artışı sağlanmıştır. Sistemin; ısı yalıtımlı oluşu, baca gazı atık ısısından yararlanılması ve düşük NO_x emisyon değerleri dikkate alındığında, sistemin benzer uygulamalara göre daha verimli olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Enerji-Ekserji analizi, Isı transferi, Ham petrol fırını, Fırın ısı verimi

SUMMARY

In this study; the system efficiency of a crude oil distillation heater (F-101) at Tüpraş Batman Refinery, was determined by energy and exergy analysis. Industrial heaters significantly affects the overall efficiency of the systems, as known from the literature studies. The efficiency of F-101 heater has been specified as 88% by manufacturer. Because of its high efficiency the heater was found to be worthy to investigate. The overall energy and exergy efficiencies were found by 80% and 60% respectively as a result of these analyses. Usage of flue gases for steam superheating process cause a performance improvement by 4%.

Since the system is insulated, stack flue gas heat is used for steam superheating process and has low NO_x emissions; heater is thought to be efficient enough according to similar process systems.

Key Words: Heat transfer, Energy-exergy Analyses, Crude oil Heater, Heater Efficiency

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Enerji-Ekonomi-Ekoloji ilişkisinin ekserji analizi açısından değerlendirilmesi .	12
Şekil 1.2. Sonlu sıcaklık farkında sıcaklık, ısı, ekserji ve enerji geçişi	14
Şekil 1.3. Sistem Sınırından girip çıkan akış halindeki bir maddenin ekserji bileşenler ...	15
Şekil 1.4. Kararlı akış halindeki bir maddenin fiziksel ekserji tayininde kullanılan tersinir modül	17
Şekil 1.5. Enerji, entropi ve ekserji arasındaki etkileşimler	18
Şekil 1.6. Şematik olarak termodinamik bir sistem	19
Şekil 1.7. Şematik olarak ham petrol distilasyonu	35
Şekil 1.8. Şematik olarak Fırın imalatı	36
Şekil 1.9. Fırın Şematik Gösterimi	37
Şekil 1.10. Fırın Bileşenleri.....	38
Şekil 1.11. Fırın içinde alev görüntüsü	39
Şekil 1.12. Brülör – Buhar parçalamalı.....	40
Şekil 2.1. Fırın kütle akış şeması	48
Şekil 2.2. Fırına giren maddelerin yüzdesel dağılımı	49
Şekil 2.3. Fırından çıkan maddelerin yüzdesel dağılımı.....	49
Şekil 2.4. Giren madde enerji dağılımı	53
Şekil 2.5. Çıkan madde enerji dağılımı.....	54
Şekil 2.6. Ekserji giriş dağılımı	57
Şekil 2.7. Ekserji çıkış dağılımı.....	57

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo1. 1. Ekserji Bileşenleri.....	16
Tablo 1. 2. A.P.I. ve yaklaşık Özgöl Kütle Değeri	29
Tablo 2.1. Fırının ortalama test parametre değerleri.....	46
Tablo 2.2. Fırın kütle dengesi	47
Tablo 2.3. Ek parametreler	52
Tablo 2.4. Fırın enerji dengesi	53
Tablo 2.5. Fırına Giren maddelerin ekserji analizi	56
Tablo 2.6. Fırından çıkan maddelerin ekserji analizi	56

SEMBOLLER LİSTESİ

A_{cp}	: Soğuk yüzey alanı (m ²)
A_t	: Tüp yüzey alanı (m ²)
A_k	: Konveksiyon kısım tüp yüzey alanı (m ²)
c	: Özgül ısı (kJ/kgK)
d	: Çap (m)
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Boru uzunluğu (m)
<i>m</i>	: Kütleli debi (kg/s)
Pr	: Prandtl sayısı
Q	: Isı geçiş miktarı (W)
ΔP	: Basınç farkı (Pa)
Re	: Reynolds sayısı
r	: Yarıçap (m)
u	: Akış hızı (m/s)
α	: Etkinlik faktörü
ν	: Kinematik viskozite (m ² /s)
μ	: Dinamik viskozite (N.s/m ²)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
T	: Sıcaklığı (°K)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
U	: İç enerji
η	: Verim
H	: Entalpi (kJ/kg)
S	: Entropi (kJ/kg.K)
P	: Basınç (Pa)

m	:Kütle (kg)
e	: Özgöl ekserji (kj/kg)
e₀	: Standart kimyasal ekserji (kj/kmol, kj/kg)
E	: Enerji (W)
Q	: Isı enerjisi (W)
R	: Gaz sabiti (kj/kg.K)
W	: iş (W)
Z	: Bir referans yüzeyine göre yükseklik (m)
Φ	: Kütle akışı olmayan bir sistemin özgöl ekserjisi (kj/kg)
Ψ	: Bir akışkanın akış özgöl ekserjisi (kj/kg)
İ	: Tersinmezlik
Ė	: Ekserji akımı kJ/h
G_{max}	: Min. Kesitte kütle hızı (kg/m ² h)
λ	: Cidar ısı iletkenliği (kJ/mKh)
σ	: Boltzman sabiti (5.67x10 ⁻⁶ W/m ² K ⁴)
lhv	: Alt ısı 1 değeri (kj/kg)

İndisler

o	: Ölü hal özellikleri
ç	: Çıkan
g	: Giren
ke	: Kinetik enerji
ort	: Ortalama
p	: Sabit basınçta
pe	: Potansiyel enerji
sis	: Sistem

top	: Toplam
tr	: Tersinir
fiz	: Fiziksel
kim	: Kimyasal
x	: Ekserji
i	: İç
d	: Dış
w	: Cidar
rad	: Radyasyon
kon	: Konveksiyon
bg	: Baca gazı
tc	: Tüp cidarı
ak	: Akışkan

1.GİRİŞ

Gelişim ve genişlemenin doğal sonucu olarak sınırlı doğal kaynaklardan elde edilen enerjiye olan gereksinim dünya genelinde sürekli bir artış göstermektedir. Yaşamın sürdürülmesinin vazgeçilmezi olan enerjinin kaynakları, oluşum periyodlarının tüketim kadar hızlı olmaması nedeniyle azalmaktadır. Bu gelişmeye bağlı olarak geçmişte ‘enerji kullanımı’ toplumlar için gelişmişlik ölçütü olarak kullanılırken artık bu ifade olması gerektiği gibi ‘enerjinin verimli kullanımı’ haline gelmiştir.

Yapılan araştırmalara göre, dünyadaki enerji tüketiminin şu anki seyri ile devam etmesi halinde 2020 yılında sahip olduğumuz fosil yakıt kaynaklarının yarısının tükenmiş olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, günlük yaşantımızın her safhasında enerjinin daha verimli kullanımını sağlayacak önlemler alınmalıdır[1]. Kıymetli olan enerjinin değerlendirilmesinde son kullanım noktasındaki verim ve uygulanan enerji dönüşümleri de çok önemlidir. Kullanılan yakıtın kimyasal enerjisinin, en yüksek oranda istenilen enerji formuna dönüştürülmesi gerekir [2].

Dünyada bir değişim süreci yaşanmıştır ve yaşanmaktadır. 1960’lı yıllarda üretim amaçlanırken, 1970’li yıllarda üretimin yanında maliyet gündeme gelmiş, 1980’li yıllarda kalite eklenmiş, 1990-2000 yıllarında, sırasıyla, termin ile yönetim ve çevre bilinci işin içine dâhil olmuştur. Bu süreçler içinde, enerji yönetim sistemleri etkisini göstermiş, ancak, ISO-9000 Kalite Yönetim Sistemi ile ISO-14001 Çevre Yönetim Sistemi şeklinde bir standarda dönüştürülememiştir. İlerleyen süreçlerde de, "Ekserji Yönetimi" gibi sistemler de gündeme gelmiştir[3].

Geçen yüzyıllarda birçok tersinmez sanayi prosesinin enerji verimlerinin tespitinde termodinamik analiz büyük oranda kullanılmıştır. Bu gelişme, araştırmacıları kullanılabilirlik, ekserji, ikinci kanun analizi, ekserji analizi, kayıp iş, vb. gibi kavramlara yöneltmiştir. Enerji analizi, enerjinin korunumu kanunu olarak bilinen termodinamiğin 1’nci kanununa dayandırılır. Birçok araştırmacı, bir prosesin geleneksel enerji analizinden başka bir de ekserji analizinin gerçekleştirilmesi ile enerji hesabının yapılabileceğini iddia etmişlerdir. [4].

Enerji analizinde, çevre faktörleri tamamen göz ardı edildiğinden benzer sistemler karşılaştırılırken enerji yönünden karşılaştırma yeterli olmayacaktır. Oysa sistemin

etkileşimde olduğu çevre, çalışma şartlarını değiştirmektedir. Bu sebeple ekserji analizi ile elde edilen ekserji verimi yönünden sistemlerin karşılaştırılması daha yerinde olacaktır. Enerji üretim sistemlerinin ve bu sistemleri oluşturan elemanların bu sınırlara göre değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu şekilde yapılan analiz yöntemi ekserji analizi olarak adlandırılmıştır. Ekserji analizi ile sistem ya da elemanların ekserji bozunumu ya da ekserji kaybından kaynaklanan tersinmezliklerin miktarları ve yerleri tespit edilir. Ekserji analizinin sonucunda sistem veriminin artırılması hedeflenir. Ekserji veriminin artırılabilmesi için tersinmezliklerin azaltılması gerekmektedir. Bu tedbirler çerçevesinde verim mümkün olan en yüksek değere çıkartılır. Ekserji analizi sayesinde sistemdeki tersinmezliklerin yerleri belirlenip bunların azaltılması ile verimi artırmak mümkündür. Isıl sistemlerin büyük bir çoğunluğuna doğrudan veya dolaylı fosil yakıtların yakılması sonucu ekserji girişi olur. Ekserji yıkım ve kayıpları yanma sonucu atık kaynaklar neticesinde oluşur. Bu kayıpları azaltmak için yakıttan daha üst düzeyde faydalanma yolları aranmalıdır. Ekserji dengesi, atık enerji kaynaklarının yerlerini, tiplerini ve büyüklüklerini tanımlama imkânı verir. Ekserji kayıp ve yıkımlarının irdelenmesi daha verimli yakıt kullanımı için stratejiler geliştirmede önemli ipuçları verir. [2].

Literatürde çok sayıda çalışmayı kapsayan ısıl sistemlerin termodinamik analizleri birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır. Enerji analizine bağlı olarak ekserji analizi uygulaması birçok alanda kullanılmış olmakla beraber önemi korumakta ve uygulanabilirliğinin kapsamı artmaktadır.

Usengül ve Kopaç [4] yaptıkları çalışmada kok gazı, yanma havası ve kömür kullanarak işletilmekte olan Erdemir Kok Fabrikaları tesisinin ekserji verimi belirlemek, kayıp ekserjilerin geri kazanılmasına ve sistemi iyileştirmeye yönelik önerilerde bulunmak amacıyla tesisteki yanma ve kok kamaralarına ait sistemin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlar. Sisteme 1'nci kanun analizi uygulanarak, ısı kayıpları hesaplanmıştır. Daha sonra sisteme ekserji analizi uygulanarak sistemin ekserjik verimi hesaplanmıştır. Kayıp ekserji potansiyelini elde etmek üzere kok kuru söndürme tesisi olarak tabir edilen ve üretilen kokun su ile soğutma yerine azot gazı kullanarak soğutulması prosesini içeren tesisin bu işletmede de uygulanmasının kayıp ekserjinin geri dönüşümü açısından önem arz edeceği, kullanılacak azot gazının aldığı ekserjiyi suyu buhara çevirmekte kullanılabileceği, elde edilen buhardan ise elektrik üretimi yapılabileceği önerisini yapmışlardır.

Akpınar ve arkadaşları [20] siklon tipi kurutma makinasında patates dilimleri tek katmanlı kurutma sürecinde enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Termodinamiğin birinci kanunu ile enerji analizi ve enerji kullanım oranları tespit edilmiş. Termodinamiğin ikinci kanunu uygulayarak, kurutma işlemi sırasında ekserji kayıplarının tipi ve büyüklüğü tespit edilmiş. Ekserji kayıplarının çoğunluğunun mevcut enerjinin az kullanıldığı birinci kısımda yer aldığı gözlenmiştir.

Paşa ve Kıncay [2] yaptıkları çalışmada otomotiv boyama endüstrisinde kullanılan boya kurutma fırınının ekserji analizi yapmışlar. Termodinamikte 1. yasa veriminin bir sistemde yapılan işin sisteme sağlanan ısıya oranı olarak tanımlandığını ancak kurutma benzeri sistemlerinde herhangi bir iş yapılmadığı veya iş harcanmadığı için 1. yasa veriminden söz etmenin mümkün olmayacağını belirtmişler. Çok büyük miktarlarda enerji kullanılan sistemlerde, sisteme sağlanan ısı enerjisinin en verimli şekilde kullanımını belirlemek açısından; ekserji analiziyle ekserji verimin hesaplanarak, kayıpların maksimum olduğu yerlerde iyileştirme çalışmaları yapmanın mümkün olduğunu savunmuşlardır.

Mançuhan [21] yaptığı çalışmada Yaş Tuğla Kurutulan Bir Tünel Kurutucudan alınan ölçüm değerleri kullanılarak enerji ve ekserji analizi uygulamıştır. Yaş tuğladaki bağlı suyun buharlaşmasının en büyük ekserji yok oluşuna sebep olduğu görülmüştür. Bacadan atılan kurutma havasının ekserji yok oluşuna önemli katkısı olurken taşıyıcı paletler, kurutulmuş tuğlalar ve tuğla yapısındaki bağlı sudan ileri gelen ekserji yok oluş değerleri oldukça düşük bulunmuş. Tünel kurutucu ekserji verimi %47,3, ekserji kaybı ise %52,7 olarak belirlenmiş. Yüzde olarak ekserji verimi dağılımı yaş tuğla serbest suyu buharlaşması için %27,8, bacadan atılan kurutma havası için %14,7'dir. Taşıyıcı paletler, kurutulmuş tuğlalar ve tuğla yapısındaki bağlı su için ise sırasıyla %2,2, %1,7 ve %0,9 olarak hesaplanmıştır.

Kanoğlu [22] bir jeotermal güç santralinde ekserji analizi yapmış. Çalışmada sistemin ekserji kayıpları belirlenmiş ve bu kayıpların büyük kısmının kondenser, türbin, reenjeksiyon,, pompa ısıtma buharlaştırma sistemlerinde görüldüğünü ve sistemin genel ekserji verimini % 29 olarak belirtmiştir. Jeotermal güç santrallerinin performanslarının gerçekçi bir biçimde ortaya konması ve performansı düşüren nedenlerin sayısal olarak belirlenmesinin ancak ikinci yasanın etkili bir biçimde ekserji kavramı yardımıyla kullanılmasıyla mümkün olacağını savunmuştur.

Tekel ve Öztürk [23] yaptıkları çalışmada üç eş ölçülü linyit kullanan elektrik enerjisi üretim santralının verimlilik analizlerini yaparak enerji ile ekserji dengelerinin kıyaslamıştır. Yıllık ortalama iklim şartları için ekserji verimlilikleri sırasıyla; % 37,86, % 28,58 ve % 19,35 olarak tespit etmiş, verimlerdeki bu farklılıkların sebebi araştırdığında kazan performanslarının büyük rol oynadığını görmüştür. Literatür araştırmalarında da en fazla ekserji kaybının yanmada meydana geldiğinin belirtilmesi, bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemekte olduğunu ve verimliliği artırmak için yapılması gereken iyileştirmelere kazan sisteminden başlanması gerektiğini belirtmiştir.

Dincer ve Al-Muslim [24] Rankine çevrimli buhar güç santralının termodinamik analizini yaptıkları çalışmada enerji ve ekserji verimlilikleri sistem parametreleri için incelenmiştir. Bu parametreler; kazan sıcaklığı, kazan basıncı, kütleli debi ve çıkış değerleri olarak ele alınmıştır. Çalışma sonuçları olarak sistem optimizasyonunda ekserji analizinin iyi bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Doldersum [25] rafineride ekserji kayıplarını inceleyerek sistemde en çok ekserji kaybının ocaklarda ve damıtma ünitelerinde meydana geldiğini tespit etmiştir, Yapılan iyileştirmelerin sistemin ekserji kayıplarının % 70 oranlarında azalabileceğini göstermiştir.

D. Peinado [26] yaptığı çalışmada Sıcak Karışım Asfalt (HMA) tesisinde agrega ısıtma ve kurutma için çalışan bir döner kurutucu da enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Geleneksel enerji analizine ek olarak, ekserji yöntemi, termodinamik kayıplarını belirlemek ve değerlendirmek için kullanılmıştır. Enerji kayıpları esas olarak baca gazları nedeniyle gerçekleşmiş, sırasıyla ekserji verimleri 0.89 ve 0.18 olarak belirlenmiştir.

Çerçi [27] buharlaştırmalı bir jeotermal santralin ekserji analizi yoluyla performansını değerlendirmiştir. Yapılan çalışmada en büyük ekserji kayıplarının; jeotermal akışkandan buharın ayrıştırılmasında, türbin – jeneratör sisteminde ve kompresörde olduğu görülmüştür. En büyük ekserji kaybının % 46,9 gibi bir değerle kullanılmayan suyun atılmasıyla ortaya çıktığı belirtilmiştir. Sistemin verimliliğinin düşük olduğu görülmüş, sistemde yapılabilecek alternatif dizayn ve geliştirmelerle iyileştirilebileceği belirtilmiştir

Çamdalı ve arkadaşları [28] yaptıkları çalışmada Çimento üretiminde kullanılan ön kalsinasyonlu döner brülöre enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Enerji verimliliği yaklaşık

% 97 olmasına rağmen, ekserji verimi% 64,4 olarak belirlenmiş, bu süreç içinde enerji bozulmasının yerleri tespit edilmiştir. Benzer bir tesiste benzer çalışmada ekserji verimliliği % 64,5 olarak elde edildiğini ve bu değerin kendi çalışmasına çok yakın olduğunu belirtmiştir. Termodinamiğin birinci yasasına dayalı enerji analizinin ısı kayıplarını azaltmak veya ısı geri kazanımı arttırmak için kullanılmasına rağmen, bu süreç içinde ortaya çıkan enerji bozulması hakkında herhangi bir bilgi vermediğini, ekserji analizinin termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları dayalı enerji bozulması sürecinde yerleri açıkça belirtmek suretiyle işlem veya teknoloji geliştirilmesini kolaylaştırdığını belirtmiştir.

Oliveira [29] yaptığı çalışmada Petrol rafineri ve petrokimya endüstrisinde ekserji kavramı uygulamasıyla, ekserji tabanlı tekniklerin etkin maliyetli ve ekolojik olarak sürdürülebilir bir şekilde enerji bozulmasını azaltmada yardımcı olacağını belirtmiştir. Ekserji kavramı ile alakalı üç E modelinin ayrılmaz bir şekilde dikkate alınmasının gerekliliğini vurgulamıştır.(Üç E modeli: enerji-ekonomi-ekoloji)

Acar [30] ısı geri kazanımlı bir Rankine çevriminin ikinci yasa analizini yapmıştır. Sisteme ait her bir elemanın enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Ekserji metodu kullanılmasının sistem üzerindeki kayıpların belirlenmesinde etkinliği savunulmuştur. Geri kazanım sisteminin çevrimin termik verimini artırdığı ve sistemde en büyük tersinmezliklerin sisteme ısı giriş çıkış prosesinde olduğu gözlemlenmiştir.

Rosen ve Dincer [31] bir kömür yakıtlı elektrik güç santrali için enerji, ekserji ve maliyet analizleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre enerji kayıplarıyla birim maliyetler arasında kurulamayan sistematik bağıntı, ekserji kaybıyla kurulabilmektedir. Elde edilen sonuçlar sistemlerin dizaynında termodinamik kayıplar ve birim maliyetler hakkında bilgi edinilmesi bakımından yararlı olmaktadır.

Fiaschi ve Manfrida [32] gaz türbininin ekserji analizi çalışmasında sistem farklı çalışma şartlarında, elemanları tek tek ele alarak ekserji kayıplarının yoğunlaştığı noktaları tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmada; yanma, ısı geri kazanım jeneratörü ile su karıştırma ve su geri kazanım sistemlerinin ekserji kaybı bakımından en yüksek değerlere sahip olduğu ve genel ekserji kayıplarının yaklaşık % 80 inini teşkil ettiği belirtilmiştir.

Aljundi [33] enerji santralinin enerji ve ekserji analizinde ortam sıcaklığının etkisini incelemiştir. Maksimum enerji kaybı, giriş enerjisinin % 66'sı çevreye kaybettiği kondenserde, ikinci olarak % 6 ile kazanlarda bulunmuş diğer kayıplar %2 nin altında

kalmıştır Santralin ekserji analizi kondenserde kaybolan enerjinin düşük kalite nedeniyle termodinamik önemsiz olduğunu göstermiştir. Ekserji yıkımı açısından, en büyük kaybı, yakıt giriş ekserjisinin % 77'si kazan sisteminde, onun yanında türbin döngüsünde % 13'e tekabül eden 20.4MW yıkılmıştır. Kazan sisteminde yanma havası ön ısıtma ve hava-yakıt oranının azaltılması ile genel ekserji verimi artırılabilceğini belirtilmiştir. Ortam sıcaklığının sistem ekserjisini etkilediği fakat elemanlar bazında oranların değişmediği görülmüştür.

Silvio ve arkadaşları [34] deniz platformundaki petrol ayırma sisteminde genel performansı artırmak amacıyla ekserji analizi yapmıştır. Sistemde petrol gaz, su ve yağ olarak ayrıştırılıp, su tekrar denize atılır, yağ pompalanır ve gaz sıkıştırılarak rafineriye gönderilir. Petrol ayırma tesisi genel ve bileşenler (ayırıcılar, pompalar, kompresörler, fırınlar ve gaz türbinleri) bazında performans incelenmiştir. Isıtma işlemlerinde ekserji tüketiminin önemini vurgulamış, santrifüj ayırma gibi yeni bir ayırma teknolojilerinin kullanımının performansı artıracağını bildirmiştir.

Lohani [35] iki farklı ölü bölge sıcaklığında fosil yakıt, toprak ve hava kaynaklı ısı pompası ile bina ısıtma sisteminde, hangi uygulamanın referans sıcaklığında etkin olduğunu görmek için enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Bu bağlamda, ticari bir yazılım paketi IDA-ICE programı kullanılmıştır. İki farklı ölü bölge sıcaklıkta enerji ve ekserji akış analizi sonucu, toprak kaynaklı ısı pompaları tüm zemin referans sistemlerine karşı daha iyi performans gösterdiği gibi fosil yakıt ve hava kaynaklı ısı pompaları sahip olduğunu bildirmiştir.

Yıldız ve Güngör [36] çalışmalarında binalarda alan ısıtma sistemine yaptığı enerji ve ekserji analizinde ısıtma yükü hesaba almış ancak soğutma yükünü ihmal ederek hesaplamaları kararlı hal koşullarını kullanılarak incelemiştir. İç ve dış hava sıcaklığı 20 °C ve 0 °C olup mahal ısıtmasında sıvı doğal gazlı (LNG) konvansiyonel kazan, LNG yoğuşmalı kazan ve harici hava-hava ısı pompası kullanılmıştır. En büyük ekserji kaybı kazanalar ısıtmada, kullanılırken yanmada dış hava-hava ısı pompası ısıtma sistemi olarak kullanıldığında birincil enerji dönüşümünde oluşmuştur. Enerji ve ekserji açısından en yüksek verim değerleri sırasıyla dış hava-hava ısı pompası için % 80,9 ve LNG yoğuşmalı kazan için %8.69 olduğu tespit edilmiştir.

Zhang ve arkadaşları [37] demir cevheri filiz sertleşmesinde kullanılan karma yakıtlı ızgaralı fırında enerji ve ekserji analizi yapmış. Karakteristik ekserji özellikleri maksimum

etkisi fırının yükseltilmiş son kısmında görülmüş. Sistemin ekserji verimliliği % 10.7, enerji verimliliği ise % 59.9 olarak belirlenmiştir. Bunun enerji tasarrufu gelişmeler için büyük bir potansiyele işaret etmekte olduğu belirtilmiştir. Ekserji analizinde fırın ve soğutucu ekserji yıkım oranı sırasıyla % 14.1, % 7.7 'si olurken, en büyük ekserji imhası (% 74.2) ızgara kısmında olmuştur. Çevre sıcaklığının önemli bir etkisi görülmemiştir.

Verkhivker ve Kosov [38] ekserji kavramına dayalı geleneksel santraller ve nükleer santrallerin performansı incelemiştir. Türbine verilen akışkan termodinamik parametreleri değerlerini artırarak ve net ısıtıcılarda sıcaklık farklılıkları azaltılarak ekserji imhasında bir azalma elde edileceği gösterilmiş. Nükleer enerji santrali termo ekonomik analizinde ikinci sınıf yakıt ve ısı üreten elemanların dikkate alınması tavsiye edilmiştir. Sistem değerlendirilmesinde ekserji ve ekonomik analizlerin bir arada getirerek bir çözüm aranmalıdır.

Ricardo Rivero [43] yaptığı çalışmada Meksika Petrol Enstitüsünde (IMP) yürütülen petrol rafineri ve petrokimya sanayindeki mühendislik projelerinde ekserji uygulamalarını incelemiştir. Bu uygulamalarda enerji düşüşünü azaltma amacıyla termodinamiğin ikinci kanunu ve ekserjinin yanı sıra Üç E Modeli (enerji-ekonomi-ekoloji) dikkate alınmıştır. Ekserji tabanlı tekniklerinin uygulanması ekolojik olarak sürdürülebilir şekilde enerji bozulmasını ve maliyeti azaltmada yardımcı olacağı belirtilmiştir.

M. Hasanuzzaman ve arkadaşları [44] yaptıkları çalışmada tavlama fırınında Enerji, Ekserji ve ekonomik analizleri yapmışlar. Yanma odası ve fırın tavlama odasının enerji ve ekserji verimleri analiz edilmiştir. Yakıcının ekserji verim % 47.1, tavlama odasının enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %17.7 ve %12.9 olarak bulunmuştur. Fırının genel enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla %16.7 ve % 7.3 olduğu bulunmuştur. Tavlama odasının yaklaşık %57 ile ekserji kayıpları için önemli bir katkı olduğu bulunmuştur. Baca gazından bir ısı geri kazanım sistemi kullanılarak, yakıtın yaklaşık % 8,1 'inin 2 aydan az bir süre içinde geri kazanılabileceğini bildirmiştir.

R. Saidur ve arkadaşları [45] yaptıkları çalışmada kazan sistemine enerji ve ekserji analizini uygulamışlar. Kazan içinde, enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla %72,46 ve % 24,89 olduğu tespit edilmiştir. Ekserji yıkımının büyük kısmı yanma odasında gerçekleşmiş ve onu ısı değiştirgeci takip etmiştir. Fan motor sisteminde değişken hızlı sürücü kullanılarak baca

gazından ısı geri kazanımı için geri dönüş süresinin 1 yıl olduğu tespit edilmiştir. Kazanın genel enerji kullanımı 19,270.8 kJ / s ve ekserji kayıpları 10.320 kJ / s olarak bulunmuştur. Isı değiştirgecinde meydana gelen enerji kaybı % 22,5 ekserji kaybı% 52, baca gazı da % 9,2 ısı kaybına sebep olmuş. Baca gazından ısı geri kazanım yönteminin kazanlarda enerji tasarrufunda en etkili yollarından biri olduğu bulunmuştur.

Jiang Aihua ve arkadaşları [46] SKS kurşun eritme sisteminde dumanlı fırın cihazının ekserji analizlerini yapmış. SKS sisteminde dumanlı fırın cihazının birincil ekserji kaynağı atık ısı kazanında ısı taşıyan buhar olmuş. Toplam ekserji kaybının %16.19 una tekabül etmiş olup cihazın atık ısı enerji tasarrufu etkisi açıktır. Geri dönüşümsüz ekserji kaybının %58.21 lik kısmı yanma ve sıcaklık farkı ile gerçekleşen ısı transferi nedeniyle oluşmuş. Erime havuzu izolasyon güçlendirilmesi, eritme sürecinin döngüsünün kısaltılması bitümlü kömür tüketiminin ve geri dönüşümsüz ekserji kaybının azaltılmasına yardımcı olacağını belirtmiş. Atık ısı kazanı çıkışında buhar sıcaklığının arttırılmasıyla patlama süresi kısaltılarak kömür tüketimi azaltılabilir. Toplam ekserjinin %6.75'ine eş atık ekserjinin %50 si geri kazanılarak yılda 909 ton kömür tasarruf edilebileceği bildirilmiştir.

Silvio De Oliveira ve arkadaşları [47] çalışmalarında açık deniz petrol platformlarında yer alan petrol ayırma işlemlerinin ekserji analizini yapmışlardır. Gaz türbinleri ve fırınlar, elektrik, mekanik güç ve platformda yararlanılan sıcak su üretmek için istihdam edilmektedir. Ekserji analizi, ekserji verimliliği ve her ekipman seti (ayırıcılar, pompalar, kompresörler, fırınlar ve gaz türbinleri) yanı sıra genel platform performansını tahrip ekserjisi değerlendirilmiştir. Petrol ayrılması öncesinde ısıtma işlemlerinde ekserji tüketimi, egzoz gazı ekserji yıkımı ve ayırma sıcaklık seçiminin ilişkisi vurgulanmıştır.

Hiroshi Taniguchi ve arkadaşları [48] yaptıkları çalışmada yanma ve termodinamik süreçlerde ekserji analizinde, sıcaklık seviyesinde bir değerlendirme tarafından desteklenen enerji analizini incelemişler. Enerji üretiminde 1500 °C ve yüksek sıcaklıklı kombine çevrim, 500-600°C buhar döngüsüne göre daha yüksek dönüşüm verimine sahip olduğu vurgulanmış. Bir fırında yüksek sıcaklıklı havanın yanma performansının ortam hava yanmasından daha yüksek bir performansı olduğu gösterilmiş. Bazen ekserji ve enerji değerlerinin sıcaklık seviyeleri tarafından desteklendiğinde aralarında büyük bir fark olduğunu belirtmişler.

Yi ve Mao-fa çalışmalarında çelik üretiminde enerji tüketimini azaltmak için Pota ocağının ekserji analizi ve optimizasyonunu incelemişler. Ekserji analizi sonuçları

kullanılamaz elektrik enerjisi ile oluşan ekserji kaybının büyük olduğunu göstermiş, ve elektrik enerji verimliliği 46.20% olmuş. Kullanılamaz elektrik enerjisi kısmak için, tozaltı ısıtma değişiklik cüruf kompozisyonları ile birlikte yürütülmüştür. Bu tozaltı ısıtmada ortalama sıcaklık oranı 0. 5 °C / dk artmıştır, kullanılamaz elektrik enerjisi ton çelik başına 21. 730 MJ azalmış ve elektrik enerji verimliliği % 14.84 artırmıştır. Rafınaj döngüsü kısaltılmış olarak ısı ekserji kaybı düşmüştür.

Soma ve Dattab [50] çalışmalarında doğal enerji kaynaklarının verimli kullanmanın çevresel ve ekonomik önemini belirtip yanma sürecinde termodinamik tersinmezlikleri ve ekserji dengesini incelemişler. Gaz, sıvı ve katı yakıtların yanma süreçlerinde termodinamik tersinmezlik ve ekserji analizi ile ilgili temel çalışmalar neticesinde, tersinmezliklerin ana kaynağının yanma tepkimelerinde yüksek sıcaklık değişimleri ile ilişkili termal enerji değişimi olduğu kabul edilmiştir. Bütün yanma reaksiyonlarının termodinamik olarak tersinmez olduğunu, kimyasal reaksiyon ve fiziksel taşıma işlemlerinin yanmadaki tersinmezliklerin kaynağı olduğunu, alev sıcaklığı yüksek tutularak veya havanın oksijence zenginleştirilerek ekserji yıkım oranının düşürülebileceğini belirtmişler. Yanmada ekserji yıkımını limitlerde tutmak için sıcaklık gradyentinin azaltılması gerektiği bu amaçla iç karıştırma ön hava ısıtma ve hava yakıt evreleme işlemi uygulanması önerilmiştir.

Araújo ve arkadaşları [51] yaptıkları çalışmada bir sanayi damıtma kolonunun ekserjetik ve ekonomik analizini incelemişler. Çalışmada basınç, sıcaklık değişimi, ayrışma işlemleri ekserji ve ekonomik kavramı uygulamaları tersinmezlik oranı, termodinamik verimlilik ve iç karlılık oranının hesaplanması için kullanılmıştır. Sistemin termodinamik verimini artırmanın önemli kısmının ısı değişim işleminde mümkün olacağı, literatürde belirtildiği üzere buhar sıkıştırmalı ısı pompası kullanımı bir damıtma kolonunun termodinamik performansı artıracağı belirtilmiş.

Ganapathy ve arkadaşları [52] yaptıkları çalışmada linyit yakıtlı termik santralin 500MW lık buharlı güç ünitesine ekserji analizi uygulamışlar. Enerji değerlendirme enerji miktarının yanı sıra kalitesinin de dikkate alınması gerektiğini ve bu amaçla ekserji analizi yapılması gerektiğini belirtmişler. Tesisin ve bileşenlerinin çeşitli alt sistemlerinin ekserji kayıpları kütle, enerji ve ekserji denge denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sistemde % 42.7 lik maksimum ekserji kayıpları yanma sürecinde , % 39 lık maksimum enerji kaybının kondansatörde meydana geldiğini belirlenmiştir. İyileştirme için tesisin % 57 lik ekserji kaybının olduğu kazanlı sistemin ekserji kaybının dikkate alınmasını ve buradaki en büyük

bileşenin yanama sürecinde olduğu belirtilmiş. Bu yanma işleminin doğasındaki tersinmezliklere, ısı kaybı, eksik yanma ve egzoz kayıplarına bağlı olabileceği ve ekserji yıkımının azaltılması için yakıcının iyileştirilmesi vurgulanmıştır.

Özkan ve arkadaşları [53] yaptıkları çalışmada kojenerasyon tesisinin verimliliği artırmak ve ekserji kaybı azaltmak için ilk gözden geçirilmesi gereken sistem bileşenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, tesis bileşenlerine termodinamiğin ikinci yasa analizi çevresel koşulların etkilerini ,enerji miktarının yanı sıra kalitesini de dikkate alarak uygulamışlar. Ekserji denge denklemleri üretilmiş ve ekserji kaybı her bileşen için hesaplanmıştır. Isı değiştirgecinde 44,44%, yanma odasında 29,59%, buhar kazanında 18,68%, gaz türbininde 5,25 ve% 2,03% ekserji kaybı olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuca göre tesisin tamamının verimini arttırmak amacıyla, olası bir değişikliğin öncelikle ısı eşanjörüne yapılması belirtilmiştir.

Rosen ve arkadaşları [54] yaptıkları çalışmada elektrik, ısıtma ve soğutma aynı anda üretilen kojenerasyon tabanlı bölgesel enerji sistemlerinde ekserji analizinin genel ve ayrı ayrı bileşenleri için performans ve verimlilik konularında önemli ipuçları sağlayacağını belirtmiş. (genel enerji verimliliği sırasıyla % 83 ile % 94, ekserji verimi ise ,% 28 ila % 29 şeklinde değişmektedir.) Genel proseslerin yanı sıra tek tek alt prosesler ve seçilmiş kombinasyonlar için, ekserji verimlerinin genellikle enerji verimliliğinden daha anlamlı ve sistem davranışında olduğu bulunmuştur. Enerji değerlendirmesindeki zorluklar elektrik ve ısı enerji formlarının farklı yapı ve kalitede olmasına bağlanılmıştır.

1.1. Ekserji

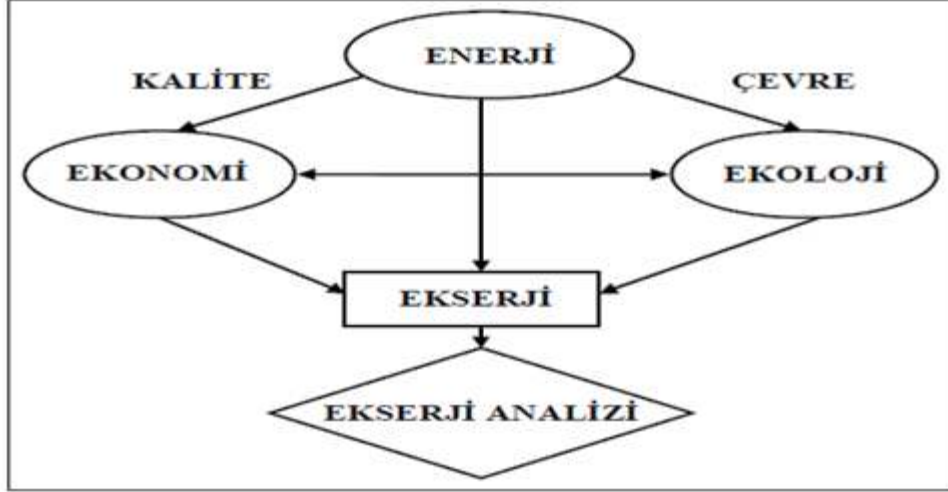
Ekserji; bir sistemin termodinamik sürecinde, referans alınan çevreyle denge haline gelirken, sistemde madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanmaktadır [12]. Ekserji kavramında çevrenin tanımlanması mutlak bir özelliktir. Ekserji gerçekte tamamen kararlı dengede olmayan sistemlerde, referans alınan çevreye göre, akış ya da sistemin gerçek enerji potansiyelinin bir ölçüsüdür. [13]. Termodinamik bir sistemin ihtiva ettiği potansiyel enerjisinin, herhangi bir referans haline göre kullanılabilirliğinin bir göstergesi olup, tersinir bir süreç sonucunda sistem çevre ile denge sağladığı takdirde, oluşan entropi sonucu kullanılamaz hale gelen enerji düşüldükten sonra, teorik olarak elde edilebilecek maksimum faydalı iş miktarı olarak da tanımlanabilir. *Sistem enerjisi içinde ise ekserji entropiden arındırılmış enerji olarak tanımlanır.* Enerjiden farklı olarak ekserji, gerçek sistemlerde tersinmezlikler nedeniyle tüketilir veya yok edilir.

Ekserji; iş ya da iş yapabilme kabiliyeti olmaktadır. Enerji, bir proseste daima korunabilirken, ekserji ise daima tersinir proseslerde korunabilmekte, gerçek proseslerde ise tersinmezlikler nedeniyle tüketilmektedir. Termodinamik bakış açısından ekserji, bir referans çevre ile denge haline gelirken bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür [12].

Bir enerji türünün ne kadarının işe yarayan enerji olduğunun belirlenebilmesi için ekserjinin bilinmesi gereklidir. Diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerjiye kullanılabilir enerji veya ekserji adı verilir, diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkânsız olan enerji ise kullanılamaz enerji ya da anergi diye tanımlanır.

Birbiri ile etkileşim halindeki farklı iki sistemden her zaman yararlı iş elde etmek mümkündür. Prensip olarak, bu iki sistem kendi aralarında denge konumuna kadar iş üretirler. Sistemlerden bir tanesi çevre diye adlandırılan ideal sistem, diğeri de bununla etkileşim halinde bir sistem olursa, sistemler dengeye gelinceye kadar elde edilebilecek teorik yararlı maksimum iş ekserji denilir. Bir başka deyişle, çevre şartlarından belirli bir şarta sistemi getirebilmek için gerekli minimum teorik yararlı iş ekserji denilmektedir[14].

Verimlilik çalışmalarında en sağlıklı analiz yöntemi ekserji kavramı kullanılarak yapılan analizlerdir. Belirli bir miktardaki ürünü üretmek adına ne kadar enerji girdisine gerek olduğunu anlamak için tesis içindeki enerji akışının izini sürmek gereklidir. Ekserji analizi bunu doğru yapmamızı sağlayan yöntemdir.



Şekil 1.1. Enerji-Ekonomi-Ekoloji ilişkisinin ekserji analizi açısından değerlendirilmesi

Enerji ve ekserji tanımlamaları yapılırken ortaya çevre ile birlikte, belirlenmiş referans çevre, sistem (açık sistem, kapalı sistem), ölü hâl, sınırlı ölü hâl, entalpi, entropi, tersinir iş, tersinmezlik gibi kavramlar çıkmaktadır.

Ekserji sistemle çevresi arasındaki farklı durumun bir ölçütü olduğundan sistem etkileşim halinde bulunduğu çevresi ile beraber değerlendirilmelidir. Değişik ekserji tanımlarından anlaşıldığı gibi ekserjinin tam olarak anlaşılıp hesaplanabilmesi için, çevre tanımı ve çevrenin sıcaklık, basınç ve kimyasal kompozisyonunun bilinmesi gereklidir[15].

Niceliğin ölçüldüğü enerji analizleri sonuçları; sistemlerin verimliliklerinin değerlendirilmesinde yeterli değildir. Çünkü ısı sistemlerde gerek duyulan enerji kullanılabilir enerjidir. Bu nedenlerle; verimlilik analizleri; önemli bir parametre olan çevre şartlarının da göz önüne alındığı termodinamiğin ikinci yasasına göre yapılmalıdır. Ekserji kavramında çevrenin tanımlanması mutlak bir özelliktir [13,19].

Enerjiden farklı olarak ekserji, gerçek sistemlerde tersinmezlikler nedeniyle tüketilir veya yok edilir. Bir sistemde ekserji tüketimi tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan

entropiyle orantılıdır. Termodinamiğin ikinci yasasına göre sistemlerde yapılan ekserji analizlerinin sonuçları; bir sistemde enerji tüketen bölümlere daha fazla duyarlılık gösterilmesini sağlamak için göz önüne alınmaktadır [16,17].

Bu yüzden ekserji analizleri, sistemlerin analizinde önemli bir araçtır. Analizler sonucunda elde edilen veriler; mevcut sistemlerde enerjiye dayalı verimsizlikleri azaltmaya ve daha verimli sistemleri tasarlamaya yönelik değerlendirmeler için önemli bilgiler içerir. Bu bilgilerin işletmelere yansımaları ekonomik bir değerle ifade edilir. Bilimsel olarak bu değerlendirmenin kapsadığı alan enerjinin verim ve maliyet etkilerinin incelendiği ‘termoekonomi’ dir.

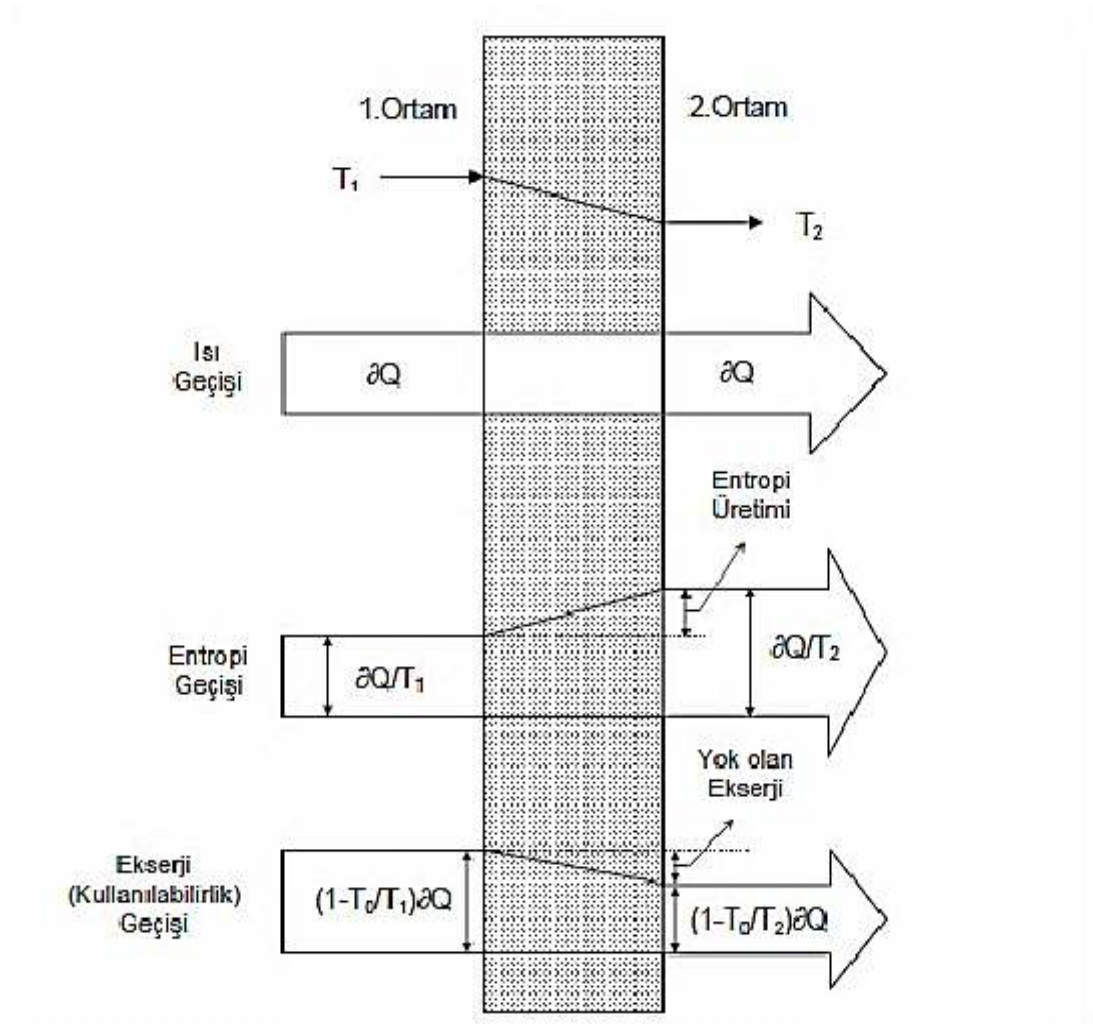
Sistemlerde enerji tüketim ve maliyet verilerine yönelik yapılan bu analizlerin değerlendirilmesi sonucunda, sistemlerin iyileştirilmesi için eksergoekonomik optimizasyon gerçekleştirilmelidir. Eksergoekonomik optimizasyonun amacı; termodinamik analizlerle (enerji ve ekserji analizleri) ortaya çıkan ve sistemin verimi olumsuz etkileyen etkenlerin giderilerek, ekserjetik verimin yükseltilmesi ve sisteme ait maliyetlerin (ürün, yakıt, tasarım vb.) minimum seviyeye düşürülmesidir [18].

Teknolojinin gelişimi, enerji kaynaklarının sürekli azalması dolayısıyla pahalılığı yaşayan dünya insanı bir yandan arzı, diğer yandan da verimliliği arttırma çalışmaları içinde bulunmaktadır. Verimlilik artışları çalışmalarında en sağlıklı analiz yöntemi ekserji kavramı kullanılarak yapılan analizlerdir. Belirli bir miktardaki ürünü üretmek adına ne kadar enerji girdisine gerek olduğunu anlamak için tesis içindeki enerji akışının izini sürmek gerekli. Ekserji analizi bunu doğru yapmamızı sağlayan yöntemdir.

Enerji proseslerinde 1. yasanın sağlanması, hal değişimlerinin gerçekleşmesi için yeterli değildir. Çevre sıcaklığında çalışan enerji sistemleri için, kullanılabilir enerji olarak da bilinen ekserjiyi, enerjinin faydalı kısmı olarak düşünebiliriz. Yani enerjinin faydalı kısmı; enerjinin başka forma dönüştürülebilen kısmıdır. Termodinamiğin ikinci kanunu, kompleks termodinamik sistemlerin optimizasyonunda çok güçlü bir araç olduğunu kanıtlamıştır. Termodinamiğin ikinci kanununun ışığında mühendislik aygıtlarının performansının belirlenmesi için; kullanılabilirlik, tersinir iş, tersinmezlik ve ikinci kanun veriminin tanımlanmaları ile işe başlanmıştır.

Enerji sistemlerini Termodinamiğin II. Yasası’na dayanarak değerlendirmeye yarayan yöntemler (Entropiyi temel alan yöntemler) bir ısıl sistemdeki tersinmezliklerin

belirlenmesi amacıyla kullanılırlar. Ekserjiyi temel alan yöntemler ise değişik enerji türlerinin iş yapabilme bakımından kalite farklılıklarını, enerji dönüşümlerinin gerçek verimliliğini, bir ısıl sistemde verimsizliğe neden olan bileşenleri ve süreçleri belirlemek amacıyla kullanılırlar.[4]



Şekil 1.2. Sonlu sıcaklık farkında sıcaklık, ısı, ekserji ve enerji geçişi [7]

1.2.1.Ekserji Kavramının Önemi

Ekserji, sistem ve çevrenin bir arada oluşturduğu birleşik sistemden elde edilebilen maksimum teorik iştir. Buradaki sistem, verilen bir durumdan çevre ile denge durumu olan ölü duruma geçer. Ölü durumda birleşik sistem enerjiye sahiptir ancak ekserjiye sahip değildir. Sistemin tüm durumları için ekserji, sıfıra eşit ya da sıfırdan büyüktür. Verilen bir durumdaki T sıcaklığı ile çevrenin T_0 sıcaklığı arasındaki fark büyüdükçe ekserji değeri de buna bağlı olarak büyür. Çevreye göre rölatif olarak belirlendiğinden, sistemin kinetik ve potansiyel enerji büyüklüklerinin tamamı ekserji büyüklüğüne katılır.

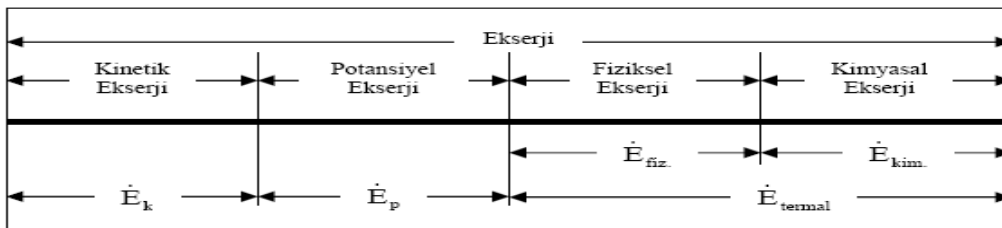
Ekserji, kimyasal ve termomekaniksel ekserjilerin toplamı şeklinde ifade edilir. Termomekaniksel ekserji, fiziksel, kinetik ve potansiyel ekserji şeklinde sınıflandırılır.

Ekserji, sistemler arasında transfer edilebilir ve sistemler içindeki tersinmezlikler yüzünden tahrip edilebilir. Bununla beraber ekserji, bir ekserji dengesi ile açıklanabilir.

1.2.2.Ekserjinin Bileşenleri

Bir sistemin basıncının, sıcaklığının, kompozisyonunun, hızının ve yüksekliğinin bir ya da bir kaç çevreninkinden farklı olduğunda iş üretme olanağı mevcut olur. Sistem, çevre durumuna doğru hâl değiştirirken iş yapma olanağı azalır, dengeye ulaştığında da bu olanak durmaktadır.

Akış halindeki bir maddenin, nükleer, manyetizma ve elektrik etkileri ile yüzey geriliminin ihmal edildiği durumda E ile gösterilen ekserji başlıca dört gruba ayrılabilir. Bunlar; potansiyel ekserji, kinetik ekserji, fiziksel ekserji ve kimyasal ekserjidir. Ekserjinin bileşenleri şekil 1.4 deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.3. Sistem Sınırından girip çıkan akış halindeki bir maddenin ekserji bileşenler

Tablo1. 1. Ekserji Bileşenleri

Enerji Aktarımı Ekserjisi	
İş Ekserjisi	$\dot{E}_i = W$
Isı Ekserjisi	$\dot{E}_Q = Q(1 - T_0/T)$
Madde Ekserjisi	
Atalet Ekserjisi	$\dot{E}_a = \Phi_k + \Phi_p$
Kinetik Ekserji	$\dot{E}_k = \dot{m}/2 (v^2 - v_0^2)$
Potansiyel Ekserji	$\dot{E}_p = \dot{m}g(z - z_0)$
Maddesel Ekserji	$\dot{E}_m = \Phi_f + \Phi_{kim}$
Fiziksel Ekserji	$\dot{E}_f = [(h - h_0) - T_0(S - S_0)]$
Kimyasal Ekserji	$\dot{E}_{kim} = [(h - h_0) - T_0(S - S_0)]$ sabit T,P

Ekserji bu dört bileşenin toplamı şeklinde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{E} = \dot{E}_k + \dot{E}_p + \dot{E}_{fiz} + \dot{E}_{ki} \quad (1.1)$$

1.2.3.Kinetik ekserji

Bir madde akışının kinetik enerjisi, düzenli bir enerji formudur ve bundan dolayı da tamamen işe dönüştürülebilir. Kinetik enerji değeri çevresel referans düzeyine göre hesaplanırsa kinetik ekserji değerine eşit olur. Buna göre:

$$\dot{E}_k = \dot{m} \frac{v^2}{2} \quad (1.2)$$

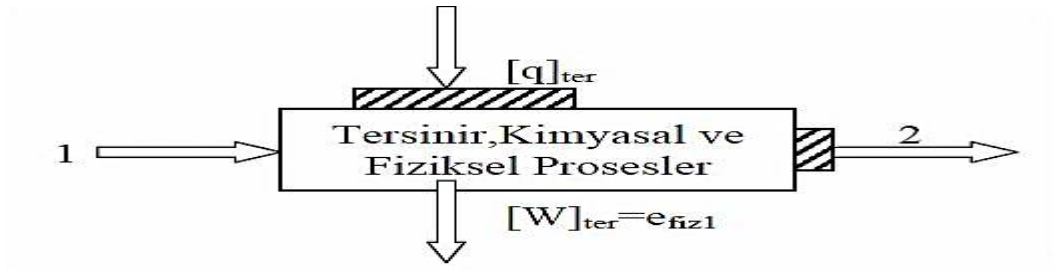
1.2.4. Potansiyel ekserji

Akış halindeki maddelerin potansiyel enerjisi düzenli bir enerji formu olduğundan tamamen işe dönüştürülebilir. Potansiyel enerji değeri çevresel referans düzeyine göre hesaplanırsa potansiyel ekserji değerine eşit olur. Buna göre:

$$\dot{E}_p = \dot{m}gz_0 \quad (1.3)$$

1.2.5. Fiziksel ekserji

Akış halindeki bir madde çevre ile sadece termal etkileşim içeren tersinir fiziksel prosesler ile başlangıç şartlarından, (P_0, T_0) ile belirli çevre şartlarına getirildiği zaman, elde edilen maksimum iş miktarına eşittir.



Şekil 1.4. Kararlı akış halindeki bir maddenin fiziksel ekserji tayininde kullanılan tersinir modül

Maddenin özgül fiziksel ekserjisi,

$$E_{fiz} = h - h_0 - T_0 (s - s_0) \quad (1.4)$$

1.2.6. Kimyasal ekserji

Ele alınan maddenin sadece çevre ile madde alış-verişi ve ısı transferi içeren prosesler ile çevresel durumdan ölü duruma getirildiği zaman elde edilebilir maksimum iş miktarına “kimyasal ekserji” denir.

$$E_{kim} = U_0 + P_0 V_0 - T_0 S_0 - \sum \mu_i^c n_i \quad (1.5)$$

U_0, V_0 ve S_0 sınırlandırılmış ölü durumdaki sistemin iç enerji, hacim ve entropisini, n_i ve μ_i^c ise sırasıyla ölü durumdaki i maddesinin mol sayısını ve kimyasal potansiyelini göstermektedir.

1.3. Bir Akışkanın Akış Ekserjisi

Bir akışkanın akış(veya akım) ekserjisi ψ ile gösterilir.

$$\psi = (h - h_o) + T_o (s - s_o) + \frac{v^2}{2} + gz \quad (1.6)$$

Bir hal değişimi sırasında (1 halinden 2 haline) sistemin ekserji değişimi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta\psi = (h_2 - h_1) - T_o (s_2 - s_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (1.7)$$

1.4. Isıl ekserji

Sistemlerin ısı ekserjisi aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanır:

$$E_{x_{isl}} = E_{x_{fiz}} + E_{x_{kim}} \quad (1.8)$$

1.5. İş ekserjisi

Ekserji, maksimum iş potansiyeli olduğundan, bütün süreçlerde iş ekserjiye eşittir.

$$Ex_w = W \quad (1.9)$$

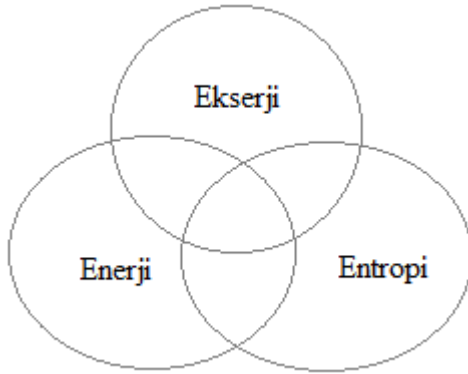
1.6. Isı transferinin ekserjisi

Isı transferinden dolayı meydana gelen ekserji;

$$Ex_Q = \int_A \left(\frac{T - T_0}{T} \right) Q_i dA \quad (1.10)$$

üniform sıcaklık dağılımı varsa $Ex_Q = Q_A \left(1 - \frac{T_0}{T} \right)$ (1.11)

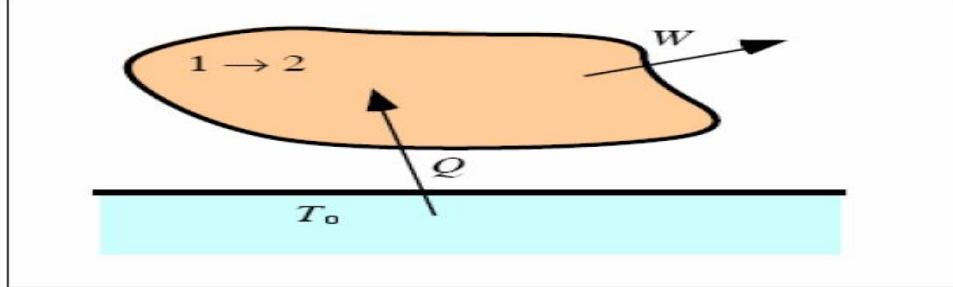
1.7. Enerji, Entropi ve Ekserji Etkileşimi



Şekil 1.5. Enerji, entropi ve ekserji arasındaki etkileşimler

Entropi ve ekserji (istatistik ve bilgi kuramı gibi) diğer alanlarda kullanılmaktadır ve bu nedenle enerjinin altkümeleri değildir. Ayrıca, enerjinin (şaft çalışması gibi) bazı formları serbest entropilidir ve dolayısıyla entropi enerji alanının sadece bir parçasıdır. Aynı şekilde, hiçbir ekserjisi olmayan sistemler (atmosferik koşullar altında hava gibi) olduğundan ekserji ancak enerji alanının sadece bir parçasıdır[39].

1.8. Ekserji Kaybı



Şekil 1.6. Şematik olarak termodinamik bir sistem

Sistem için termodinamiğin birinci yasasını uygularsa; $Q = U_2 - U_1 + W$
Sistemin entropi değişimini; $S_{SIS} = S_2 - S_1$ olarak tanımlanabilir.

Kaynak Q ısını verdiğinde kaynağın entropi değişimi; $S_{KAYNAK} = Q / T_0$ olarak tanımlanabilir.

Sistem ve çevrenin toplam entropi değişimini S^{TOP} ile gösterilirse;

$$S^{TOP} = S_{SIS} - S_{KAYNAK} = S_2 - S_1 - (Q / T_0)$$

Q ifadesini yok ederek;

$$W = U_2 - U_1 - T_0 (S_1 - S_2) - T_0 S^{top} \text{ ifadesini elde edilir.}$$

Toplam entropi değişimi termodinamiğin ikinci yasasına göre daima pozitif olacaktır.

$$S^{TOP} > 0$$

W işinin sistemden elde edilebilecek maksimum değerini verir. Söz konusu maksimum değer, tersinir bir proses için toplam entropi üretimi $S^{TOP} = 0$ olduğunda elde edilir.

Tersinir bir prosesimiz olduğu ve T_0 sıcaklığındaki bir ısı kaynağından ısı alarak sistemin 1 durumundan 2 durumuna geldiğini kabul ettiğimizde elde edebileceğimiz maksimum iş;

$$E = U_1 - U_2 - T_0 (S_1 - S_2)$$

$$W = E - T_0 . S^{TOP} \text{ elde edilir.}$$

Entropi üretimi daima pozitif olduğundan ekserji, sistemden elde edilebilecek iş için bir üst sınır verir. Elde edilebilir iş W , ekserji değeri ile sınırlıdır. Entropi üretiminin S^{TOP} olduğu tersinmez bir proses için bu değer, kullanılabilir iş kaybı yada ekserji kaybına karşılık gelir. Tersinmez bir proses için ;

$$W_{KAYIP} = Ex_{KAYIP} = T_o \cdot S^{TOP} \quad \text{ve} \quad S^{TOP} \geq 0 \quad \text{yazılabilir.}$$

Eşitlikten de görüleceği üzere Kullanılabilir Enerji Kaybı (Ekserji Kaybı) asla negatif olamaz. Ekserji kaybı, izlenen yola yani sistem tasarımına bağlıdır, sistemin termodinamik bir özelliği değildir. Bu nedenle Ekserji Kaybı sistemlerin farklı tasarımlarını karşılaştırmak için kullanılabilir. Sonuç olarak bir sistemdeki Ekserji kaybı;

Ekserji Kaybı = Çevre Sıcaklığı (Ölü hal)x Sistemdeki Entropi Üretim Değeri
olarak ifade edilebilir.[1]

Aşağıdaki denklemde bir sistemin ekserji kaybı veya tersinmezliğinin nasıl hesaplanacağı ifade edilmektedir. Bu denklemden de görüleceği gibi ekserji kaybı net entropi değişimi ile çevre sıcaklığının çarpımına eşittir.

$$\delta E = T_o \sum \Delta S = T_o \cdot \Delta S_{net} = \dot{I} \quad (1.12)$$

Bu denkleme “Ekserji Kaybı Yasası” veya “Gouy–Stodola Yasası” adı verilir. Ayrıca aşağıdaki denklemde de ifade edildiği gibi ekserji kaybı, tersinmezliklerden dolayı ortaya çıkan kayıp işe eşittir.

$$\delta E = W_{kay}$$

1.8.1. Kısmı olayında meydana gelen ekserji kaybı

Çeşitli sistemlerin kısma olayından sonra ekserji kayıpları aşağıda ifade edilmiştir.

$$\text{Sıvılar için: } \delta E = \frac{T_o}{T} v dP \quad (1.13)$$

$$\text{İdeal gaz için: } \delta E = n.R.T_o \cdot \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (1.14)$$

1.8.2. Sürtünmeden Dolayı Ekserji Kaybı

Sistemdeki sürtünmeden dolayı meydana gelen ısıнын sebep olduğu ekserji kaybı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$\delta E = Q_f \frac{T_o}{T} \quad (1.15)$$

1.9. Kapalı Sistemlerde Ekserji Dengesi

Bir hal değişimi süresince bir sistemin ekserji değişimi, sistem sınırlarındaki hal değişimi süresince yok olan ekserjiye eşit miktardaki bir ekserji geçişinden daha azdır. Ekserjinin azalması ilkesi birim kütle için aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$Ex_g - Ex_{\phi} - Ex_{kayıp} = \Delta Ex_{sis} \quad (1.16)$$

$$Ex_{is1} - W_{iş} - Ex_{kayıp} = \Delta Ex_{sis} \quad (1.17)$$

$$\sum (1 - \frac{T_o}{T_k}) Q_k - [w - P_o(v_2 - v_1)] - T_o S_{üretim} = E_{x_2} - E_{x_1} \quad (1.18)$$

1.10. Kontrol Hacimleri Ekserji Dengesi

Burada sınırlardan kütle geçişi de vardır ve bu nedenle sisteme ekserji geçişi vardır. Yine ısı geçişinin işareti sisteme doğru iken pozitif, iş geçişinin işareti ise sistemden dışarı doğru iken pozitif alındığında bir kontrol hacmi için ekserji dengesi ifade edilebilir:

$$Ex_{is1} - Ex_{iş} + Ex_{kütle,g} - Ex_{kütle,\phi} - Ex_{kayıp} = (Ex_2 - Ex_1)_{kh} \quad (1.19)$$

$$\sum (1 - \frac{T_0}{T_k}) \dot{Q}_k - [W - P_0(V_2 - V_1)] + \sum_g \dot{m} \psi - \sum_\zeta \dot{m} \psi - Ex_{kayip} = (Ex_2 - Ex_1)_{kh} \quad (1.20)$$

1.11. Sürekli Akışlı Sistemlerin Ekserji Dengesi

Kompresörler, lüleler, yayıcılar, ısı değiştiricileri, borular ve kanallar gibi kontrol hacimlerinin çoğu sürekli olarak çalışır ve böylece hacimlerinde olduğu gibi kütlelerinde, enerjilerinde, entropilerinde, ve ekserji içeriklerinde hiçbir değişikliğe uğramazlar. Bir sürekli geçişli akışlı sistemin tüm biçimlerinde giren ekserji akımı, sistemi terk eden ekserji akımı ile yok olan ekserjinin toplamına eşit olmalıdır. Birim zaman için genel ekserji dengesi sürekli akışlı sistemler için;

$$\sum (1 - \frac{T_0}{T_k}) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum_g \dot{m} \psi - \sum_\zeta \dot{m} \psi - Ex_{kayip} = 0 \quad (1.21)$$

1.12. Ekserji Verimi

1.12.1. Basit (Temel) Verimlilik

Ekserji veriminin temel formudur. Basit verimlilik formu, giren ve çıkan materyallerin ekserji dengesinin kurulması ile oluşturulur. Basit verimliliğin en kısa tanımı; toplam çıkan ekserji akışının, toplam giren ekserji akışına oranıdır.

$$\eta = \frac{\dot{Ex}_\zeta}{\dot{Ex}_g} \quad (1.22)$$

Basit verimlilik, bir termodinamik sistemin tüm ünitelerinde kullanılabilir. Basit verimlilik giren ekserji akışının bir üniteden diğerine transfer edildiği ısı sistemde, sistemin termodinamik yeterliliğinin iyi bir görünümünü verir. Ancak bu verimlilik güç istasyonları gibi ekserji transferinin olmadığı kısımlarda fabrikaların proses veya ünitelerin değerlendirilmesinde yanlış bir etki verir. Basit (temel) verimliliğin duyarlılığı; transfer edilmeyen ekserjinin fabrika proseslerinde veya ünitelerinde azalması ile değişir.

1.12.2. Rasyonel Verimlilik

Rasyonel verimlilik, 1995 yılında Kotas tarafından; arzulanan (istenilen) ekserji çıkışının kullanılan ekserjiye oranı olarak tanımlanmıştır. Rasyonel verimlilik;

$$\eta = \frac{\dot{E}x_{d\zeta}}{\dot{E}x_k} \quad (1.23)$$

$E_{xd\zeta}$ sistemden transfer edilen ekserjilerin toplamıdır. Ayrıca her ürün sistem tarafından üretilmektedir. Arzulanan (istenilen) çıkış, sistem fonksiyonlarının denemeleri yolu ile belirlenmiştir. Arzulanan çıkışın sürekliliğine dikkat edilmelidir. E_{xk} proses için gerekli olan ekserji girişi olarak tanımlanır. Eğer $E_{xd\zeta}$ ve E_{xk} bir kontrol yüzeyinde doğru tanımlanırsa, ortaya çıkan tersinmezliklerin tamamı, göz önünde bulundurulan prosesle ilgilidir. Bu durumda sisteme giren ekserji çıkan ekserji ile tersinmezliğin toplamına eşittir.

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_{d\zeta} + \dot{I} \quad (1.24)$$

Kullanılan ekserjinin arzulanan çıkış için, kullanılabilir. Rasyonelliğin alternatif formu elde edilebilir.

$$\eta = 1 - \left(\frac{\dot{I}}{\dot{E}x_k} \right) \quad (1.25)$$

Rasyonel verimlilik her sistem için kullanılabilir. Çünkü rasyonel verimliliğe bağlı olarak elde edilemeyen üretim miktarları bu yolla belirlenebilir.

1.12.3. Geçişli Ekserji ile Verimlilik

Kostenko tarafından açıklanan, Brodyansky, Sorin ve Lee Goff tarafından daha da geliştirilen geçişli ekserji ile verimlilik basit verimliliğin gelişmiş bir formudur. Bu verimin hesaplanmasında giren ve çıkan akışkanların ekserjisinden, transfer edilmeyen parçaların ekserjisi çıkarılır. Verimlilik; geçişli ekserji ile aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [19].

$$\eta = \frac{\dot{E}x_g - \dot{E}x_{tr}}{\dot{E}x_g - \dot{E}x_{tr}} \quad (1.26)$$

Burada $\dot{E}x_{tr}$ geçişli ekserjidir. Sorin tarafından açıklanmıştır. Geçişli ekserji; bir sistemde ısı ve kimyasal etkileri gösteren, ekserjinin bir parçası olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

1.13. Petrol

Yer yağı ya da bilinen adıyla petrol, hidrokarbonlardan oluşmuş, sudan yoğun kıvamda, koyu renkli, kendisine özgü kokusu olan, yeraltından çıkarılmış doğal yanıcı mineral yağıdır. Latince 'de taş anlamına gelen "petra" ile yağ anlamına gelen "oleum" sözcüklerinden oluşmuştur (*Petra oleum*= Petrol).

Petrol, hidrokarbonların karışımından meydana gelmiş olup, her zaman sabit bir kimyevî bileşimi yoktur. Doğal akaryakıt olan ham petrol, bulunduğu coğrafyaya göre değişen bileşimler gösterir. Hidrokarbon sınıfından olan bileşikler, ağır kokulu naften sınıfından bileşikler veya bu ikisinin bir karışımını içeren kaynaklarda mevcuttur. Petrol ürünleri, petrolün rafinasyonu ile elde edilen ürünlerdir ve petrol kadar karmaşık bir yapıya sahiplerdir. Genel olarak petrol ürünleri, destilasyon sonucu elde edilen petrol türevi yakıtların yansıra, plastikler, yağlar, sentetik lifler, deterjanlar, sentetik gübreler gibi pek çok ürünün üretiminde hammadde ya da destek madde olarak beslenen çeşitli petrokimya ürünlerinden oluşur.

1.13.1. Petrolün Oluşumu ve Bulunması

Petrol denizlerdeki bitki ve hayvanların öldükten sonraki kalıntılardan oluşmuştur. Bu kalıntılar deniz yatağında milyonlarca yıl boyunca çürümüş ve geriye yalnızca yağlı maddeler kalmıştır. Yağlı maddeler çamur altında kalmış ve zamanla çamur sıkışıp kayaç katmanlarına, alttaki yağlı maddelerde de petrol ve gaza dönüşmüştür. Yerkabuğundaki hareketler bazen denizlerin kara parçaları haline gelmesine ve petrol içeren kayaçların da binlerce metre derine gömülmesine yol açmıştır.

Çoğunlukla petrol oluştuğu yerden başka yerlere taşınmıştır. Bazen kayaçlardaki gözeneklerden sızıp kilometrelerce derinden yüzeye çıkmış ve burada buharlaşmış (gaz haline dönüşmüş), geriye bir bitüm ya da zift birikintisi kalmıştır. Çoğu kez de gözeneksiz, sert kayaçlarla karşılaşmış ve buralarda toplanmıştır. Bulunan petrol yatakları bu tür kayaçların petrolü tutmasıyla oluşmuştur. Bu yataklarda, süngerin su emmesi gibi, gözenekli kayaçların

emdiği petrolün üstü kubbe biçimli, sert ve gözeneksiz kayaçlarla örtülmüştür. Ama bu kayaçlar ile petrol arasında genellikle bir doğal gaz katmanı, petrolün altında da çoğu kez eski denizden arta kalan tuzlu su bulunur.

Petrolü oluşturan ham maddenin organik veya anorganik olmak üzere iki ayrı kaynağı ve bu kaynaklara dayanan iki teori grubu vardır. Organik orijinden geldiğini hemen hemen herkes kabul etmiş gibi olsa da bazı bilim adamları anorganik teoriler üzerinde durmaktadırlar. Buna başlıca neden anorganik bir element olan hidrojenin petrolün oluşumunda oynadığı roldür.

Yapılmış olan bazı laboratuvar ve jeokimyasal deneyler sonucunda organik maddenin petrole dönüşmesi için gereken etkenleri 4 gruba ayırmıştır.

Isı ve basıncın etkisi; ısı ve basınç veya yalnız basıncın etkisi ile organik maddelerin petrole dönüştüklerini iddia edilir. Eğer gerçekten bu basınç enerjisi yeterli ise yer katmanları içinde çok basit hazır etkendir. Ayrışmanın ısı etkisiyle gerçekleştiği gerek doğada ve gerekse laboratuvar çalışmalarında açıkça görülmektedir. Organik maddelerden bitüm veya mum gibi maddeleri elde etmek için en az 200 °C gibi sıcaklıklara gereksinim vardır. Hâlbuki petrolün oluşum ortamında bu derece yüksek sıcaklıklar bulunamayacağı da bilinmektedir. Isı ve basınç petrol oluştuktan sonra petrolün değişiminde büyük rol oynadıkları deneylerle kanıtlanmıştır fakat petrolün oluşumunda etken oldukları kanıtlanamamıştır.

Katalitik reaksiyonların etkisi; katalizörler bir kimyasal reaksiyonda başlatıcı veya hızlandırıcı bir rol oynarlar. Doğada katalizör olarak bilinen birçok maddeler arasında özellikle petrol içinde bulunan vanadyum, molibden ve nikel vardır. Katalizör olarak görev yapan söz konusu maddelerin bir kimyasal reaksiyonun gereksinim duyduğu sıcaklıkları çok düşürür. Sonuç olarak laboratuvar çalışmaları göstermişlerdir ki basta kil mineralleri olmak üzere bazı katalizör görevi yapan maddelerin etkisi ile petrolün oluşumu kısmen kolaylaşmıştır. Ancak bütün petrolerin bu şekilde oluştuğunu kabul etmek pek doğru olmaz.

Radyoaktif bombardımanın etkisi; yer katmanları içinde radyoaktif minerallerin çok yaygın olarak bulunduğu bilinmektedir. Uranyum, toryum ve potasyumlu mineraller ve bunların ikincil ürünleri az da olsa hemen hemen tüm taslarda vardır. Radyoaktif minerallerin yaydıkları alfa, beta ve gama ısınları arasından özellikle alfa ve gama ısınları organik maddelere etki yaparak kimyasal bileşimlerinin değişmesine yol açmaktadır.

Bakterilerin etkisi; günlük hayatımızda organik maddelerin bakteriler yardımıyla çürümesi olağandır. Bataklıklarda özellikle CH₄ (metan) gazının bakteriler etkisi ile meydana geldiği bilinmektedir. Bakteriler bilinen ve laboratuvarı veya doğada deneysel olarak görülebilen etkilerinin petrolün oluşumunda da esas etken olduğu düşünülmektedir. Bitkiler çok çeşitli olurlar bazıları aerobik oksijenle yaşarlar bazıları ise anaerobik havasız ortamlarda yaşarlar. Bunların dışında hem havada hem de havasız ortamda yaşayabilen bakteriler vardır. Denizlerde derinlere doğru inildikçe serbest oksijen hızla azalır ve deniz tabanlarında özellikle sedimanları içinde ancak anaerobik bakterilerin çok yavaş etkisi bulunur. Çok redükleyici bir ortamda bakteriler organik hayvan veya bitki kalıntılarını petrole benzer maddelere dönüştürürler. Bunu yapabilmeleri için bakteriler oksijen, azot, kükürt ve fosforu organik maddelerden çekip alırlar. Yapılan araştırmalar göstermiş ki bakteriler petrolün oluşmasında esas etken olmuşlardır. Aynı zamanda da petrolün oluştuğu yerden rezervuar veya kapılara doğru gitmesinde rol oynamışlardır.

Petrol binlerce yıl boyunca basit bir biçimde kullanılmıştır. Babilliler yol döşerken ve bağlayıcı madde olarak bitümden, Romalılar yolları için Sicilya'dan getirttikleri asfalttan yararlanılmasının yanı sıra İtalya, Almanya, Kuzey Amerika ve Birmanya'da hastalıklarda tedavi edici olarak kullanılmıştır.

19. yüzyılın ortalarına kadar ham petrol, doğal olarak yüzeye sızdığı yerlerde oluşturduğu birikintilerden toplanmıştır. Hayvanların su içtiği kaynaklara ya da tuzlu su çıkarmak için açılan kuyulara sızdığı için de çoğu zaman can sıkıcı, istenmeyen bir madde olarak görülürdü. “Kaya Yağı” olarak adlandırılan petrol, kumaşa emdirilerek toplanıyor ve ilaç ve aynı zamanda aydınlatmada kullanılabileceği biliniyordu. 1850 dolaylarında ABD’de A.C.Ferris ve ardından S.M.Kier, petrolün lamba yağı olarak kullanılmasına yönelik ilk çalışmaları başlattılar. Gerçekte gazyağının üretilişi, aydınlanma alanında tam bir devrim olmuş ve gazyağına kısa surede büyük talep doğmuştur. Gazyağının üretilmeye başlanması ile birlikte hızla gelişen ham petrol talebi, doğal olarak yeryüzüne çıkan petrolün oluşturduğu kaynakların dışında petrol üretilmesi ihtiyacını doğurmuş ve böylelikle petrol sanayinin yeni bir cephesi ortaya çıkmıştır. ABD’nin Pennsylvania eyaletinde “Pennsylvania Rock Oil Company” isimli şirket adına Edwin L. Drake 27 Ağustos 1859’da yaptığı sondaj çalışmasında 21 metre derinlikte petrole rastladı. Petrol, balina avlamak gibi riskli bir işten daha güvenilir ve daha ucuz bir lamba yağı kaynağı olduğu için hazır bir pazar buldu ve gerçek petrol çağı başlamış oldu.

1.13.2. Petrolün Kimyasal Yapısı

Petrol, başlıca hidrojen ve karbondan oluşan ve içerisinde az miktarda nitrojen, oksijen ve kükürt bulunan çok karmaşık bir bileşim olup, yalın bir formüllü yoktur. Normal şartlarda gaz, sıvı ve katı halde bulunabilir. Rafine edilmiş petrolden ayırt etmek için ham petrol diye isimlendirilen sıvı petrol, ticari açıdan en önemli olanıdır. Gaz halindeki petrol, imal edilmiş gazdan ayırt etmek için genelde doğal gaz olarak adlandırılır. Yarı katı ve katı haldeki petrol ise ağır hidrokarbon ve katrandan oluşur. Bu türden petrole, özelliklerine ve yöresel kullanımlarına bağlı olarak asfalt, zift, katran ve diğer isimler verilir. Ham petrol ve doğal gazın ana bileşenleri hidrojen ve karbon olduğu için “Hidrokarbon” olarak da isimlendirilirler.

Ham petrol, petrol gazı, gazyağı, benzin, motorin, fuel oil, yağlama yağları, mum ve asfaltik bitüm gibi çeşitli maddelerden oluşur. Bu maddelerin kimyasal yapısı çoğunlukla yalnızca karbon ve hidrojenden oluşmaktadır ve kısaca hidrokarbonlar olarak adlandırılırlar, bunların dışındaki elementler çok az olduklarından ihmal edilebilirler. Ham petrol içerisinde kükürt eser miktarda bulunmasına rağmen ürün kalitesi üzerinde etkisi nedeniyle önemlidir.

<u>Element</u>	<u>Kütleli Yüzde</u>
C (Karbon)	82-87
H ₂ (Hidrojen)	12-18
O ₂ (Oksijen)	0,1-7,4
N ₂ (Azot)	0,1-2,4
S (Kükürt)	0,1-5,5
V, Fe, Mg, Ca, P, Zn, Co	0,1-1,2

Ham petrolün içerisindeki karbon atomlarının sayısına ve dizilişine göre hidrokarbonlar normal sıcaklık ve basınçlar gaz, sıvı veya katı fazda bulunurlar.

- 4 karbon atomluya kadar gaz fazda
- 4-20 karbon atomlular sıvı fazda
- 20’ den fazla karbon atomlular katı fazdadırlar.

1.13.3. Petrolün Fiziksel Özellikleri

Ham petrolün fiziksel özellikleri geniş sınırlar arasında değişir. Çoğunlukla hafif (yüksek graviteli) petroler acık kahverengi, sarı veya yeşil renkli, ağır (düşük graviteli) petroler ise koyu kahverengi veya siyah renklidirler. Yüksek graviteli petrolün rafinajından çoğunlukla benzin, gazyağı ve motorin gibi hafif ve beyaz ürünler, düşük graviteli petrolün rafinajından ise daha ziyade fuel oil ve asfalt gibi ağır ve siyah ürünler elde edilir. Doğal gaz hafif hidrokarbonların bir karışımı olup, ana bileşeni metandır. Doğal gaz sıklıkla ısı değerini ve buna bağlı olarak ticari değerini olumsuz etkileyen kükürt ve karbondioksit gibi diğer maddelerle birlikte bulunabilir. Doğal gazın rezervuar şartlarında gaz halinde olan hafif bir ham petrol (kondanseyt) ile birlikte bulunması ticari değerini arttırır.

Ham petrolün fiziksel özellikleri petrolerin elde edildikleri ülkelere ve sahalara göre farklılık gösterirler. Genel olarak sıvı halde bulunurlar ve bunların rengi yeşilimsi kahverengi şeklindedirler. Bazı bölgelerde çıkartılan petroler yarı katı ve renk olarak siyahtırlar. Özgül kütleleri kimyasal yapılarına göre değişiklik gösterirler.

<u>Ham Petrol</u>	<u>Özgül Kütle [kg/m³]</u>
Çok hafif petrol	700-800
Hafif petrol	800-900
Ağır petrol	900-1000

Petrol suda erimez ama az miktarda karışabilir. Özellikle petrol yataklarına yakın yer altı suları var ise ve iki madde temas halinde iseler su ile petrol belirli oranda bir emülsiyon halinde bulunurlar, %10, %20 ve hatta %40 oranlarında olur. Böyle olunca petrolün değeri düşer.

Petrol konusu ile çalışanlar genellikle özgül kütle yerine A.P.I.^o (American Petroleum Institute) derecesini kullanırlar.

$$A.P.I.^{\circ} = \frac{141,5}{d(60/60)^{\circ}F} - 131,5$$

d(60/60)°F: özgül kütle oranı, 60°F(15,6 °C)'ta petrolün özgül kütlelerinin aynı sıcaklıktaki suyun özgül kütlelerine oranıdır.

Tablo 1. 2. A.P.I. ve yaklaşık Özgül Kütle Değeri

A.P.I. ^o [kg/m ³]	Özgül Kütle [kg/m ³]	A.P.I. ^o [kg/m ³]	Özgül Kütle [kg/m ³]
0	1076	60	738,9
10	1000	70	702,2
20	934	80	669
30	876,2	90	638,8
40	825,1	100	611,2
50	779,6		

A.P.I. derecesi 38'in üzerinde olan ve kükürt miktarı % 4-5'ten fazla olmayan petrol iyi bir petrol sayılır. Petrolün kalitesi hakkında fikir veren diğer bir özellik ısı değeri. Genellikle petrolün ısı değeri (H_u) 42000 kJ/kg mertebesinde. Petrolün viskozite değeri de çok önemlidir özellikle boru hattı ile taşınması düşünülüyorsa.

İyi kalitede petrol genellikle kolay bir rafinaj neticesinde bol miktarda beyaz ürün veren petrollerdir.

Tablo 1. 3. Çıkış yerine göre ham petrol A.P.I. değerleri

Çıkış Yeri	A.P.I.
Venezüella	29 – 41
Libya	36 – 39
Irak	34 – 36
Arabistan	> 34
İran	31 – 34
Türkiye	19 (Magrip) 21 (Raman) 25 (Garzan)

1.13.4. Petrolün Arıtılması

Çok sayıda ve değişik yapıda hidrokarbonun bir karışımı olan petrol, ancak kendisinden ayrılabilen değişik türevleri sayesinde enerji ya da kimyasal madde kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. Bu nedenle ayırma işlemleri petrol arıtımının temel işlemleridir. Arıtma işlemleri, ayrıca ısı ya da kataliz yardımı ile yapılan süreçlerin ürünlerini de ayırmada rafineride uygulanan temel işlemlerdir. Ham petrolün içindeki binlerce hidrokarbonun

kaynama noktası, donma noktası, özel çözücülerdeki çözünürlükleri vb. fiziksel özellikleri birbirlerinden farklıdır.

Bu farklılıklardan faydalanarak ham petrolden çeşitli türevler ayrılabilir. Ham petroldeki bileşenlerin pek çok fiziksel özellikleri birbirlerine benzediğinden bu işlemlerden birini uygulayarak arı madde ayrılması metan, etan gibi çok hafif hidrokarbonlar dışında olanaksızdır. Ancak genellikle petrolden arı maddeler ayrılması yerine fiziksel özellikleri birbirine yakın grupların ayrılması amaçlandığından rafineride bu işlemlerden biri, bazen ikisi ardarda uygulanır.

Tuz ayırma (desalting), mekanik, kimyasal ve elektriksel yöntemlerle yapılabilir. Süreç seçiminde temel ilke tuzun petroldeki dağılımı ve ham petrolün viskozitesidir. Tuzun emülsiyonlarını kırmak için genellikle kimyasal maddeler (demulsifier) kullanılır. Isıtılan petrol kimyasal madde ve yıkama suyu ile karıştırıldıktan sonra bir tankta dinlendirilir. Tuzlu su dibe çöker, tuzu giderilmiş petrol üstten alınır. Ancak bu çöktürme tankına daldırılan elektrotlara yüksek gerilim uygulayarak çöktürme çok hızlandırılabilir. Ham petrolün dielektrik madde olarak kullanıldığı bu yöntemde önce ham petrol 60-140°C'ye ısıtılır; büyük, yatay bir silindirik kaptaki yüksek voltajlı iki elektrot arasına yollar. Elektrotlar arasına 10.000-15.000 V gerilim uygulanır. Hidrokarbonlardan çok daha polar yapıya sahip olan tuzlar ve serbest metal parçacıkları çabucak bir elektrik yükü kazanır. Ve en yakın elektrota giderler. Bu arada tuzların çözünmesini ve dolayısıyla iyonlaşmalarını sağlamak üzere sisteme su da eklenir. Elektrotlarda toplanan tuz ve metaller kendi ağırlıkları ile aşağıya akar ve tankın dibinden dışarı alınırlar.

Ön Isıtma, petrol, kökenine göre çok değişik bir yapıya sahip olmasına rağmen genellikle içindeki hidrokarbonların yüzde ellisi 300°C'in üzerinde kaynar. Bu nedenle ham petrol damıtma kulesine gitmeden önce 350°C civarına kadar ısıtılır. Ancak pek çok ham petrol 350°C'ye ulaşmadan önce ısının etkisi ile parçalanmaya başladığından bu ön ısıtma sıcaklığının çok iyi saptanması gerekir. Ön ısıtma genellikle borulu fırınlarda yapılır. Günümüzde on kadar ayrı tip borulu fırın kullanılmaktadır. Fırın, içine yerleştirilmiş yatay veya düşey borulardan ham petrol geçen bir yanma odasıdır. Yakıt ya da gaz yakılarak üretilen ısı, ısıma ve ulaşım ile petrole aktarılır.

100-140°C'de fırına gelen ham petrol önce konveksiyon bölgesinde 180°C'ye kadar baca gazları ile ısıtılır. Daha sonra iki bölümlü ısıma bölgesindeki ısıtma sonucu 340-360°C'ye kadar ısıtılır. Fırında ısı aktarım katsayıları yüksektir.

Fırınlara ısı verimliliği %80 civarındadır. Son zamanlarda geliştirilen, boruların düşey yerleştirildiği ve tüm donanımın hareketli olduğu fırınlarda konveksiyon bölgesi üsttedir ve ısı verimlilikleri de %90'a yaklaşmaktadır. Fırındaki yüksek sıcaklık nedeniyle bazı hidrokarbonların parçalanmaları doğaldır. Bu nedenle oluşan yüksek karbonlu katı parçacıklar, kok denen yığılımlar yaparak boru tıkanmalarına, kızgın nokta meydana gelmesine, botu çatlama ve patlamalarına yol açarlar.

Ön ısıtma fırınlarında petrolün % 40-50 si buharlaştırılır. Borularda 10-13 atm. basınç düşmesi gözlenir. Yakma havası teorik orandan %25 kadar fazla olabilir. Fırındaki alev sıcaklıkları 425-650°C ye kadar çıktığından ve kükürtlü bileşiklerin bu sıcaklıkta neden olduğu korozyon fazla olduğundan fırının boruları genellikle krom, molibden ve nikelli çeliklerden yapılır.

Bu değişik ürünler farklı sıcaklıklarda kaynayıp buharlaşır; bu özellikten yararlanılarak, ayrımsal damıtma denen yöntemle bu ürünler ham petrolden ayrılabilir. Ham petrol ısıtılır, bir sıvı ve buhar (gaz) karışımı halinde, ayırma kulesi denen çelik bir kuleye pompalanır. Sıvı bölüm kulenin dibinde toplanır, fueloil ve bitüm gibi ürünler haline gelir. Buharlar kulede yükselir ve yükseldikçe de soğur. Önce mazot gibi daha ağır ürünler sıvılaşır ve bunlar kulenin değişik düzeylerindeki tepsilerden çekilip alınır. Benzin buharları kulenin tepesine kadar yükselir ve buradan alınarak sıvılaştırılır.

Damıtma, arıtmanın birinci aşamasıdır. Ham petrol rafineride, değişik ürünlerin istenen miktarlarda elde edilebilmesine olanak verecek biçimde işlenebilmelidir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olan "kraking" (parçalama), ağır ürünleri daha hafif bileşenlerine ayırır ve böylece elde edilen benzin miktarı artar. Bütün maddeler moleküllerden, moleküller de atomlardan oluşur. Petrol hidrokarbon moleküllerinden, yani hidrojen ve karbon elementlerinin atomlarından oluşur; ama bütün petrol moleküllerinde aynı sayıda atom bulunmaz. Örneğin, fueloil moleküllerinde gazyağı moleküllerinden daha çok hidrojen ve karbon atomu vardır ve bu yüzden fueloil molekülleri gazyağı moleküllerinden daha ağırdır. Kraking işleminde, büyük taşların parçalanıp çakıl haline getirilmesi gibi moleküllerin bazıları da ısı ve basıncın etkisiyle parçalanır ve daha hafif moleküller elde edilir.

Reforming, (düzeltim) işlemi ise arıtma sürecinin en önemli aşamasıdır. Bu, yüksek sıcaklık ve basınçta gerçekleştirilen, moleküllerin büyüklüklerinden çok biçimlerini değiştirmeye yönelik bir işlemdir. Bu işlemle hidrokarbon zincirlerinin biçimi değiştirilir ve

bunlar "aromatik" bileşikler denen benzen halkalı bileşiklere dönüştürülür. Üstün nitelikli benzin bu aşamada elde edilir.

Ham petrolü atmosfer basıncında damıtma: Atmosfer basıncından çok az yüksek bir basınçta yapıldığından bu adı alır ve ara kat ürünleri veren bir damıtma kulesinde, ham petrolün birçok ana kesite ayrılmasını sağlar. Gaz ve benzinler, kerosen, mazotlar, atmosfer artığı. Ham petrol kuleden çekilen ürünlerin ısı enerjisini kullanan ısı değiştiricilerle ısıtıldıktan ve borulu bir fırında bölümsel olarak buharlaştırıldıktan sonra 340 ile 380 °C de kulenin alt bölümüne yarı buharlaşmış halde verilir. Aynı andaki tesisteki kirlenmeyi ve korozyonu sınırlandırmak için ham petrole tuz giderme işlemi uygulanır: üretim yada taşımadan kaynaklanan mineral tuzlarını özütlemek için önce ham petrole su püskürtülür ardından yaklaşık 130°C de tuz giderme balonunda elektrikle su ve ham petrolün karışması hızlandırılır ve karışım durultulur.

Gazlardan ve benzinden oluşan en uçucu kesit, damıtma kulesinin tepesinde toplanır; kerosen ve mazotlar kulenin yan bölümünden alınır, sonra her biri daha küçük başka bir kuleye gönderilerek uçucu madde ayarları ayarlanır. Atmosfer basıncında damıtma artığı ana kulenin tabanından alınır.

Gazları ve benzinleri ayırma işleminde genellikle çift ürünlü damıtma kulesi kullanılır. Gazlar önce kararlaştırıcı ya da bütan giderici kulede benzinlerden ayrılır.; sonra bir etan giderici bir propan gidericide, bölümsel damıtmayla propan ve bütan yanıcı gaz halinde ayrı ayrı özütlenir. Nihayet benzinleri bölümsel damıtma kulesinde ayırarak hafif ve ağır benzinler elde edilir.

Atmosfer artığını boşlukta damıtma; arakat ürünleri veren bir damıtma kulesinde gerçekleştirilir; Bu kulenin çalışma ilkesi tepe bölümünde basınç 10 ile 70 mbar arasında değişen bir boşluk oluşturmak ve böylece atmosfer artığı bileşenleri, ısı parçalanmaya yol açmayacak düşük bir sıcaklıkta damıtmaktır. Artıklar, borulu bir fırında bölümsel olarak buharlaştırıldıktan sonra kulenin alt bölümüne 370-410 °C sıcaklıkta yollanır. Boşluğu, kulenin tepesinde yoğunlaşmış gazları emen buhar enjektörleri sağlar. Böylece ilk ara kat ürünü olarak bir mazot, alt ara kat ürünlerinden iki ya da daha çok damıtma ürünü ve kulenin dibinde ise boşlukta damıtma ürünü elde edilir.

Bu üç tesis genellikle tak mbar üretim birimi içinde toplanır ve sığa göz önüne alındığında ayırt edici özelliğini, aygıtların fırınların, özellikle de kulelerin dev boyutları

oluşturur. Bir atmosfer basıncında damıtma kulesinde yaklaşık 9m ye yaklaşık bir kule demektir.

Petrol rafinasyonunun genel karakteri, ham petrolün tüketici ürünlerine, ekonomik proseslerle dönüştürülmesidir. Petrol ürünlerinin ve petrokimyasalların üretimi veya rafinasyonu içerisinde, fiziksel değişimler veya ayırma operasyonları ve kimyasal değişimler veya dönüşüm prosesleri yer alır.

Rafinasyon önce distilasyonla yapılan bir ayırmadır ve burada, akışkan akımı, ısı transferi ve distilasyonla gibi temel fiziksel değişimler yer alır. Petrol alanında karşılaşılan bu üretim konusunun araştırılmasındaki zorunluluk, kimyasal mühendisliğin bu bölümün gelişmesini hızlandırmıştır. Yalnızca fiziksel ayırmalarda ibaret olan bu işlemi, petrol ürünlerinin daha ileri rafinasyonunda, kimyasal dönüşümler izler. Bunlar arasında alkilasyon, izomerizasyon, polimerizasyon, hidrojenasyon, katalitik reforming ve dehidrojenasyon yer almaktadır.

Başlangıçta kullanılan borulu kazan tipi imbik yardımıyla ham petrolden, benzin ve diğer benzeri ürünlerin elde edilmesinden, günümüzde çalıştırılan 200.000 varil/gün veya daha fazla kapasiteli ve karmaşık yapıları sürekli çalışan modern rafinerilere gelinceye kadar, uzun bir yol izlenmiştir. Boru tipi distilasyon cihazlarının kullanılmaya başlanması, gazdan petrokimyasallara kadar uzanan, benzin, gazyağı, gas oil, kaydırıcı yağ, fuel oil, artıklar ve katranlar gibi petrol ürünlerinin, sürekli çalışan fraksinasyon kulelerinde ayrılımları ile mümkün olmuştur. Bu gibi rafineriler, ikincil işlemlerin pek çoğunu sürekli bir şekilde gerçekleştirebilecek, cihazlarla da donatılmışlardır. Bu işlemlerin her biri, işlenen ham petrolün tipine bağlıdır.

1.13.5.Ayırma İşlemleri

Ham petrol rafinasyonunun temel fiziksel değişimleri teorik olarak, basit gibi görünse de, gerçekçe çok karmaşıktır. Bir rafineri fırın (ocak), brülörlü ısıtıcı, fraksiyon kulesi, su buharı sıyırıcısı (striper), ısı değişimi cihazı, soğutucular ve kondenserler, kükürdün zararlı bileşiklerini uzaklaştırmak ve istenilen bir renk oluşturmak için depolama tankları, ürünleri işlemeye mahsus çalışan karıştırıcılar, filtre sistemleri, ham petrolü rafineriye almak için boru hattı; ham petrolü iletmek ve ürünleri taşıma araçlarına doldurmak için pompalar; ham petrol ve ürünler için depolama tankları; buhar geri-kazanma sistemi ve çok sayıda yardımcı cihazdan oluşmaktadır.

Rafinasyonun ayırma bölümü aşağıdaki şekilde, fiziksel temel işlemlere ayrılabilir.

Akışkan akımı, rafineri mühendisi, suyun akımı ve bu bilgilerin petrole uygulanışı ile ilgili, geniş literatüre yönelir. Petrol ve su arasında, iki önemli fark kabul edilmelidir: petrolün viskozitesi, geniş bir alanda, sıcaklıkla değişir ve ısıya karşı duyarlıdır.

Distilasyon, en önemli temel fiziksel değişimler arasında yer alır. Bu işlemde ayırma, uçuculuğu esas alır ve proses akımı distilasyonla, daha uçucu << hafif>> komponent ile daha az uçucu << ağır>> komponente ayrılır. Daha evvel kullanılan kesikli distilasyonun yerini günümüzde, tümüyle sürekli distilasyon almıştır. Günümüzde uygulanan sistemde ham petrol, bir fırın içerisine yerleştirilmiş, boru sisteminde pompalanır ve borudan kaynama (püskürme) ile çıkan iki fazlı(buhar-sıvı) karışım, bir fraksiyasyon kolonu içerisinde buharlaşır. Kolonun çeşitli noktalarından, değişik kaynama noktasına sahip fraksiyonlar (üzenler) çekilir. Kolonun tabanından alınan artık, vakum veya su buharı distilasyonuna sokulur. Ham petrol kolonundan, çeşitli ürünler çekilir. Gaz yağı ve nafta fraksiyonları, kaba bir şekilde ayrılmış ve az miktarda, ana fraksiyondan daha yüksek uçuculukta, ham petrol benzini (straight run gasoline) ihtiva eder. Bunlar, su buharı püskürtülerek, striperlerde (bir kaç rafa sahip kısa bir kolon) uzaklaştırılırlar. Striperlerin üst kısmından benzin alınır ve ham petrol distilasyon kulesine geri gönderilir.

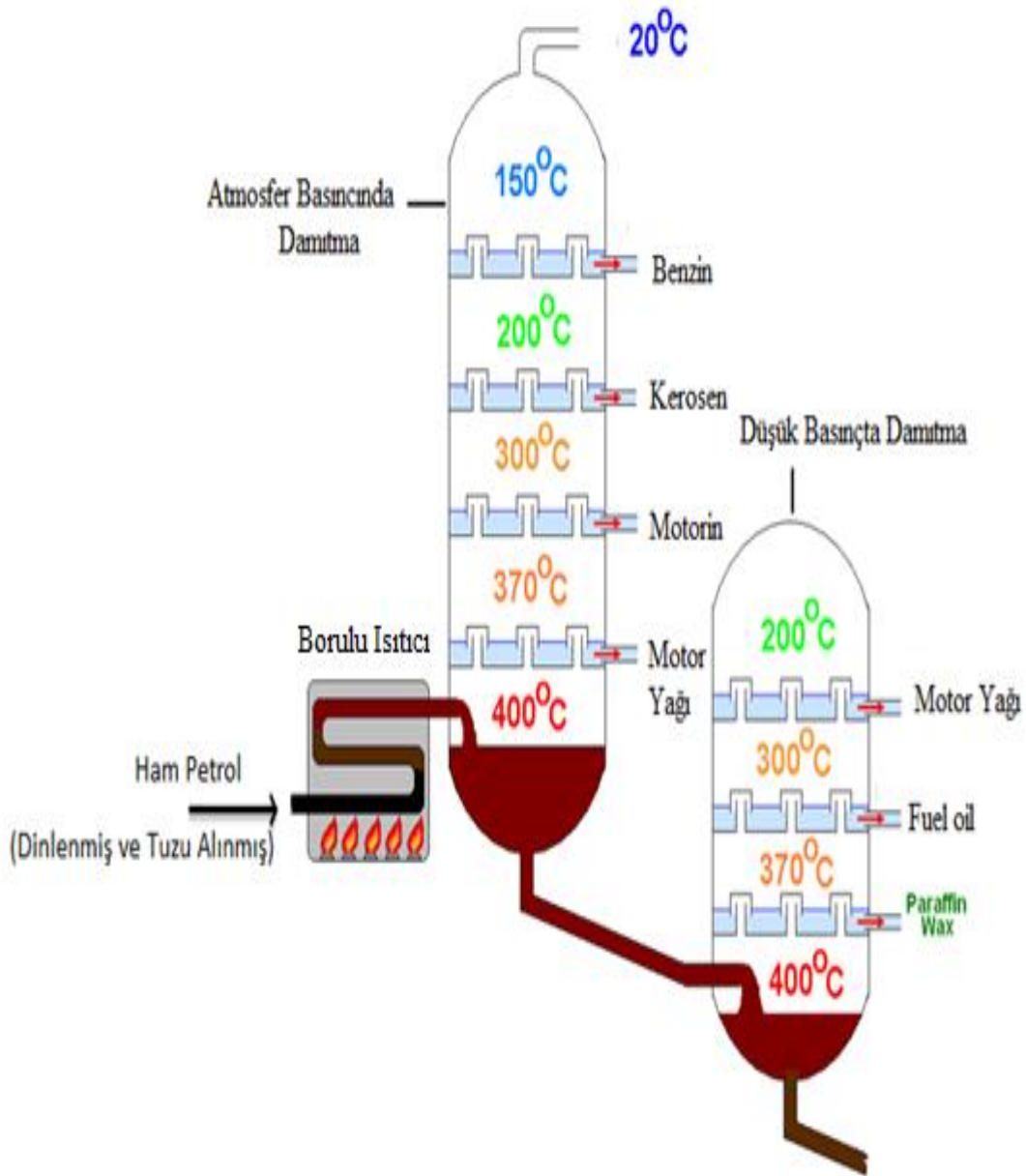
Absorpsiyon; genel olarak, buhar veya gaz bir sistemin, yüksek kaynayan komponentlerini diğer komponentlerinden ayırmada kullanılır. Absorpsiyon ortamı (maddesi) çok kez, özel bir petrol ürünüdür (gas oil). Absorpsiyon petrol kuyusu gazlarından doğal benzinin ve depolama tanklarında meydana gelen buharların kurtarılmasında, yaygın bir şekilde kullanılır. Absorpsiyon ayrıca, pek çok rafineri prosesinde (katalitik kraking, hifrokraking, koklaştırma, vb.) hafif hidrokarbonların elde edilmesine de yarar.

Adsorpsiyon; yaklaşık, absorpsiyon benzeri amaçla kullanılır, petrol kuyusu gazlarından doğal benzinin kurtarılmasında, bunun odun kömürü tarafından adsorplanmasından yararlanılır. Adsorpsiyon ayrıca, aktif kil kullanılarak kaydırıcı yağlardan istenmeyen rengin uzaklaştırılmasında da kullanılır.

Süzme (filtrasyon); mum distilantlarından mumun uzaklaştırılması için alışılmış yöntem, distilatı soğuttuktan sonra süzmektir. Filtre preslerde elde edilen mum karışımı ve bunlara yapışan diğer petrol ürünleri (madeni yağlar) dondurulur ve yavaş yavaş ısınmaya bırakılır. Yağ kısmı eriyerek akar ve böylelikle mum, daha da saflaştırılmış olur.

Kristallendirme; en eski ayırma yöntemlerindendir biridir. Kristallendirme ile ham petrolden veya kaydırıcı yağlardan uzaklaştırılabilir..

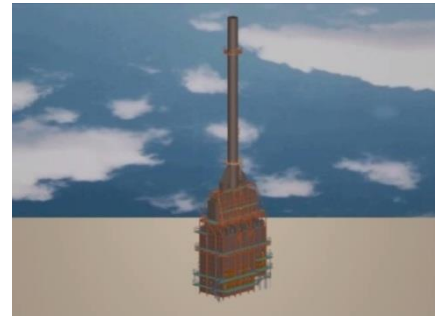
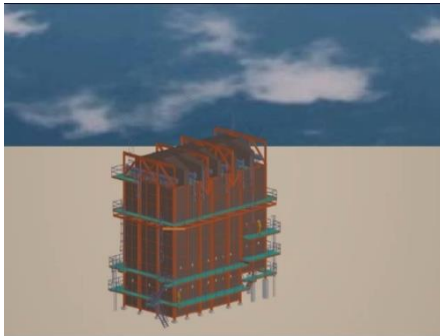
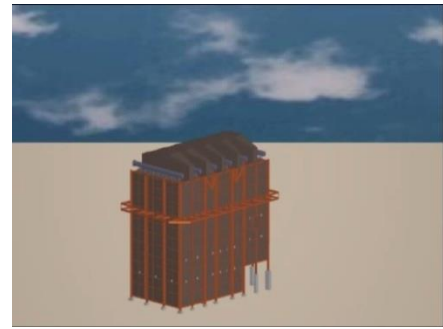
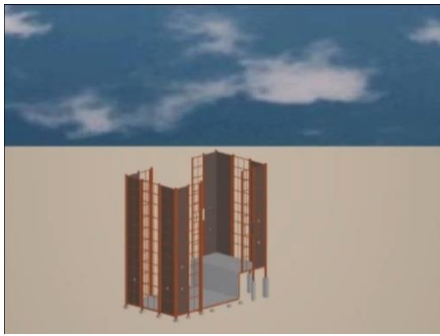
Ekstraksiyon; bir sıvıdan, (çözültiden) diğer bir sıvının seçimli çözücü etkisi ile, bir komponentin uzaklaştırılmasıdır. Solventlerle (çözücülerde) seçimli ekstraksiyon işlemi, kaydırıcı yağların daha ileri saflaştırılmasında, önemlidir. Kaydırıcı yağlardan, viskozite indeksi düşük hidrokarbonların, dengesiz tortuların ve bir kısım renkli maddelerin uzaklaştırılması da bu yöntemle gerçekleştirilebilir. Ekstraksiyon çok kez, zıt akım yöntemiyle yapılır.



Şekil 1.7. Şematik olarak ham petrol distilasyonu

1.14. Fırınlr (Yakıtlı Isıtıcılar)

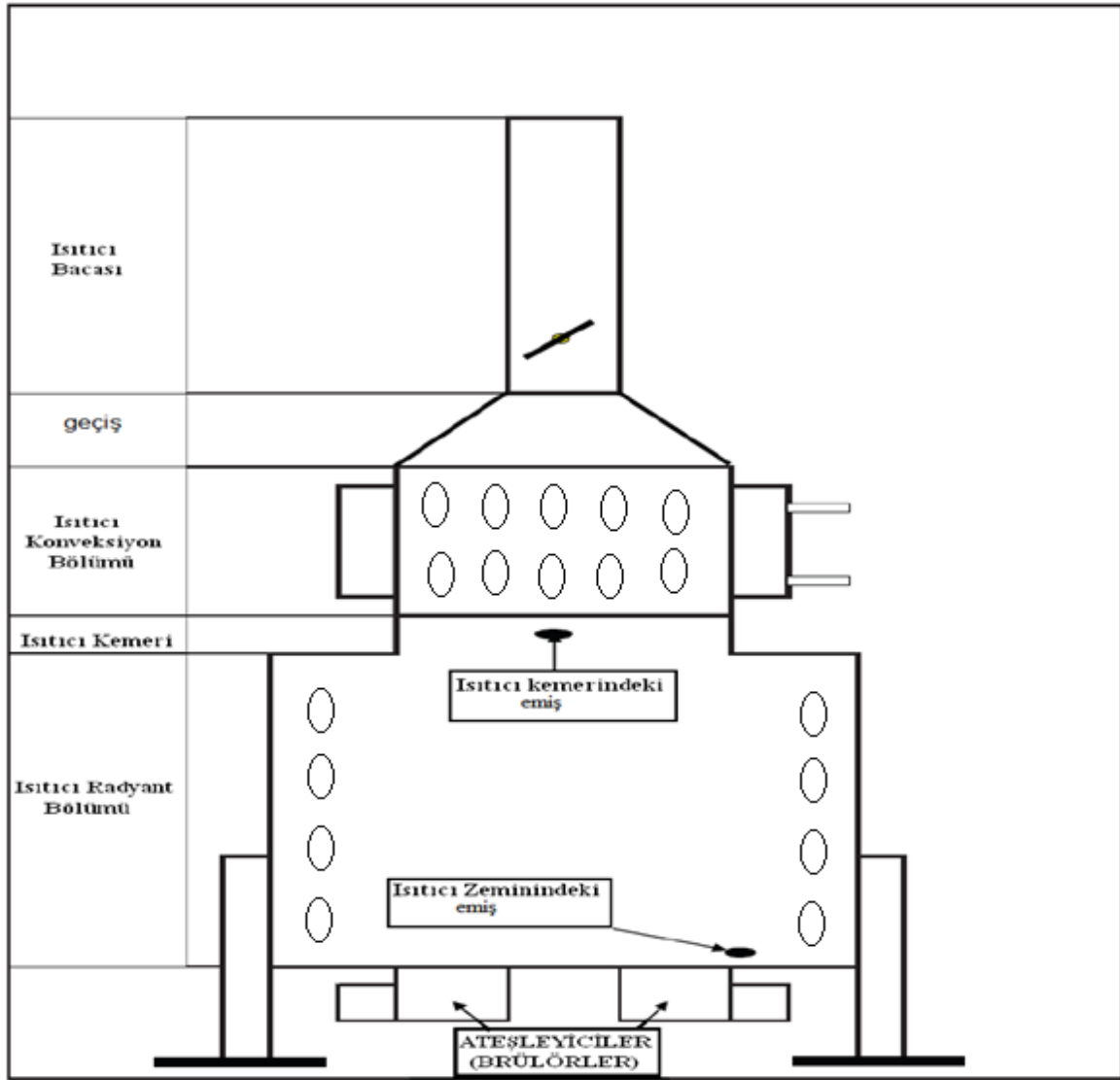
Fırınlr yanma odasında yanan yakıttan elde edilen ısıyla sistemden bekleyen veya geçen cisim ve akışkanı ısıtmada kullanılan büyük ısıtıcılar olarak tanımlanabilir. Fırınlrın endüstride çok çeşitli kullanım alanı bulunmaktadır. Genellikle proses de kullanılan madde katı ise ısıya direk sıvı ise i tarafa döşenen borular vasıtasıyla maruz kalır. Fırınlarda kullanılan yakıt sıvı, gaz veya ikisinin kombinasyonu olabilir. Genellikle kimyasal işlemlerde ve petrol arıtma sitemlerimde yaygın olarak kullanılmaktadır. En çok kullanılanları silindirik veya dörtgen ısıtma hazneli olanlardır.



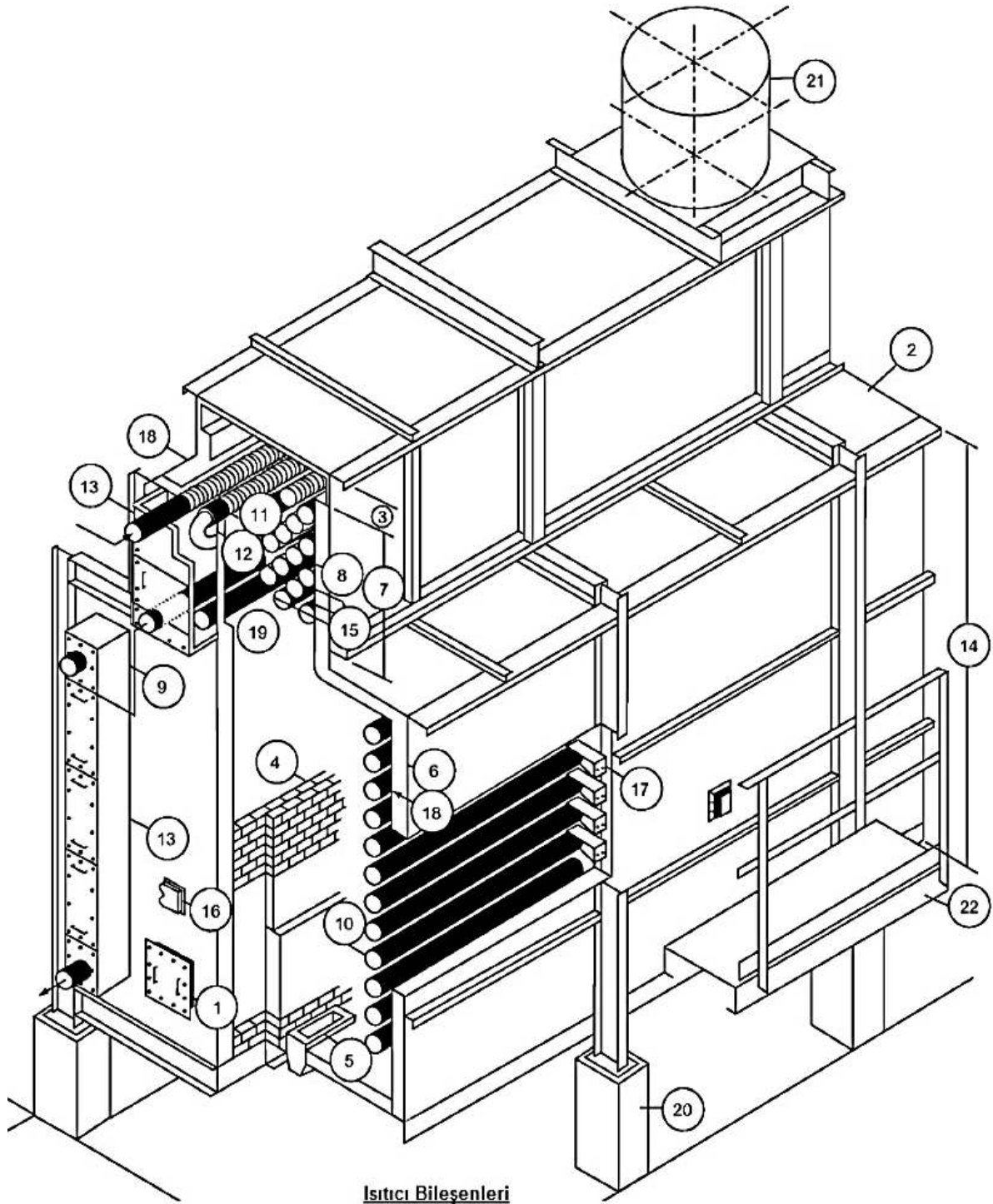
Şekil 1.8. Şematik olarak Fırın imalatı

Brölör genelde ısıtıcı zeminine veya duvarına yerleştirilir. Akışkan taşıyıcı borular duvarlara monte edilmiştir. Yanma odasının alt kısmına radyant bölüm denir ve burada boru yüzeyine ısı geçişi radyasyonla olur. Baca gazları daha sonra yanma odasının konveksiyon bölümüne geçirilmektedir. Bu bölümdeki borularda ısı transferini artırmak için kanat veya çivi gibi genişletme yüzeyleri kullanılır.

Genelde ısının çoğu radyant kısımda akışkana geçmekte, olup baca gazı direk atmosfere bırakılabileceği gibi ısı ön ısıtma vb. işlemlerde kullanılabilir. Konveksiyon kısmı ısıtıcının genel verimini arttırmaktadır. Düşük ısı aktarımlarında konveksiyon kısmı kullanılmaması ısı verimi düşürse de kurulum maliyetini azaltmaktadır. Günümüzde attan enerji maliyetleri nedeniyle konveksiyon kısımları kullanılmakta ve ön ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Konveksiyon ve radiant bölüm birbirinden kalkan kısım denilen boru demetiyle birbirinden ayrılır.



Şekil 1.9. Fırın Şematik Gösterimi



Isıttıcı Bileşenleri

- | | | | |
|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1. Erişim kapısı | 7. Konveksiyon bölümü | 13. Başlık kutusu | 19. Tüp sac |
| 2. Kemer | 8. Çıkma desteği | 14. Radyant bölüm | 20. İskele |
| 3. Boşluk | 9. Geçit | 15. Kalkan bölüm | 21. baca/ kanal |
| 4. Köprü duvar | 10. Tüpler | 16. Gözlem kapısı | 22. Platform |
| 5. Brülör | 11. Genişletilmiş yüzey | 17. Tüp destek | |
| 6. Kasa | 12. Dönüş dirseği | 18. Refrakter kaplama | |

Şekil 1.10. Fırın Bileşenleri

1.14.1.Hava beslemesi ve Baca Gazı Temizleme

Fırınlarda dışarıdaki soğuk hava ve baca gazlarının yoğunluk farkından kaynaklı negatif basınç söz konusudur. Negatif basıncın korunması ve sürtünme kayıplarını yenerek baca gazlarının atmosfere atılması için baca yüksekliği ayarlaması yapılır. Yanma havasının akışı doğal, zorlanmış, indüklenmiş veya dengeli sistemle sağlanabilir. Doğal sistemde emiş baca tarafından sağlanır. Zorlanmış sistemde, hava cebri (FD) olarak adlandırılan bir santrifüj fan ile sağlanır. İndüklenmiş sisteminde, baca gazları (ID) fanı olarak bilinen bir santrifüj fan ile ısıtıcı kutusundan çıkarılır. FD ve ID fan aynı anda kullanıldığında dengeli sistemi olarak adlandırılır.

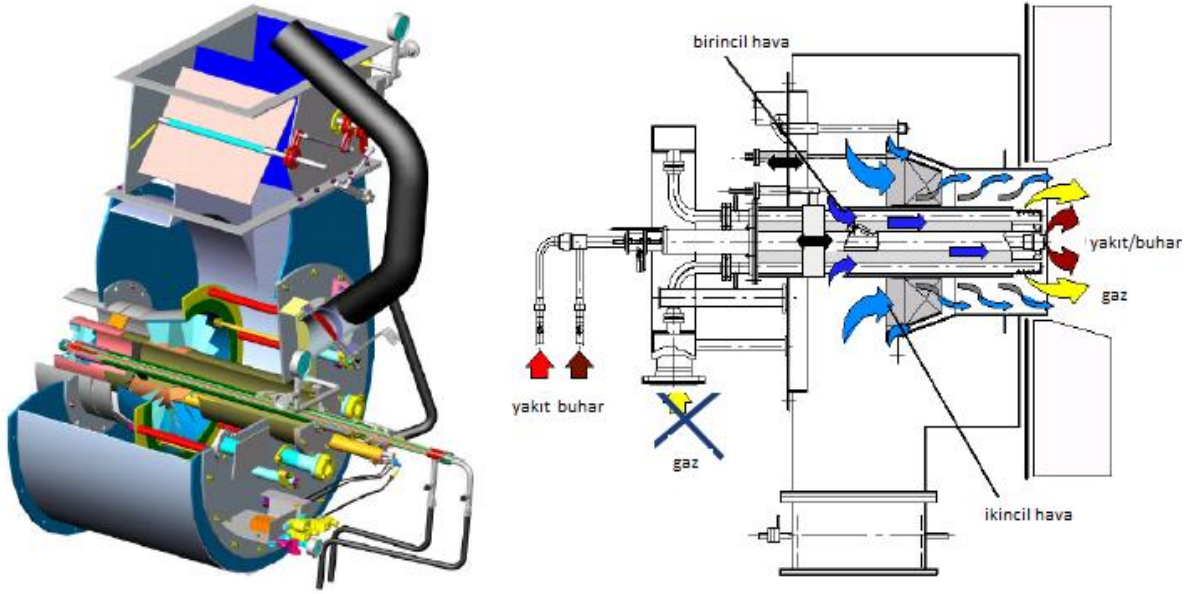
Aşırı Hava; fazla hava yakıtın tam yanması için gerekli olan teorik hava miktarının yüzdesi olarak ifade edilir. Genellikle sıvı ve gaz fırıncılarda % 10-25 fazla hava gerekmektedir. Hava fazlalığı fırınların NO_x emisyonlarını azaltmada yardımcı olur ve aynı zamanda baca gazları ile ısı kayıplarını en aza indirir.

Brülörler; yakıtların püskürtülerek hava ile karıştırılmasını ve yakılmasını sağlayan araçlara brülör denir. Brülörler ısıtıcıda yakıt ve hava karışımının yanmasını başlatmayı ve sürdürmeyi sağlar. Büyük ısıtıcılarda birden fazla brülörler vardır. İstikrarlı bir yanma sağlamak için brülörlerin, geniş yakıt kullanma kabiliyeti, öngörülebilir alev desenleri, düşük gürültü ve NO_x düzeyleri, kolay hava fazlalığı operasyonu olmalıdır.



Şekil 1.11. Fırın içinde alev görüntüsü

Yakıt gaz basıncı ve hava akımı, gaz yakıt ve yanma havası karışımı için enerji sağlar. Sıvı yakıtların yakılması için sis haline getirilip hava ile karıştırılması gerekir. Sıvı yakıtlı brülörlerde yakıt ve yanma havasının karıştırılması gaz fazında oluşumu için, mikron boyutlu damlacıklar halinde sıvı püskürtme cihazları kullanılır. Yağ yakıtlı brülörlerde püskürtme aracı olarak buhar kullanılır. Buhar püskürtmesi mümkün değilse mekanik atomizasyon kullanılabilir. Fuel oil çok az uçucu bir yakıt olduğundan ısıtılıp basınçlı olarak püskürtülmesi gerekmektedir. Fuel oil yakıtı türüne göre son noktada 90-130° C kadar ısıtılmalıdır. Brülör memesi ateşlemenin sürdürülmesi için sıcak bir yüzey sağlar ve gerekli şekil alev verir.



Şekil 1.12. Brülör – Buhar parçalamalı

1.14.2.Tasarım

Proses sıvılarının özellikleri bir fırının tasarımı için önemlidir. Örneğin, çok yüksek viskoziteli sıvıların çok yüksek film sıcaklığı elde etmek eğilimi vardır, film sıvısı akışkan yığınyla kolay karışmaz. Akışkanın ısı dağılımı dengesiz olur, sıcak noktalar gelişir. Isıtıcının görevi tüm süreç içinde istenen ısı transferini karşılamaktır, seçim toplam ısı yüküne göre yapılır.

Ortalama radyant ısı akısı oranı, fırın tasarımı için çok önemli bir parametredir. Yüksek radyant akı tasarımı, daha fazla ısı transfer yüzeyine ve buna bağlı olarak ısıtıcının küçük ve daha düşük maliyetli olmasını sağlar. Diğer yandan yüksek radyant oranları ömrü kısaltması

nedeniyle yüksek bakım maliyeti ile sonuçlanabilir. Isıtıcı seçimi çeşitli faktörlerin bir fonksiyonudur, izin verilen ortalama radyant ısı akısı oranı çalışma şartları dikkate alınarak belirlenmelidir.

Kütle akış hızının iyi ayarlanması gerekir. Akış hızına bağlı olarak molekül zincirlerinin küçülüp ve büyümesiyle boru iç yüzeyinde sıvı filmi oluşur. Bobinlerde koklaşma ve kirlenmeyi en aza indirmek için, ateşli ısıtıcılar yeterince yüksek kütle hızları ile dizayn edilmelidir. Ancak çok yüksek bir kütle hızı borularda basıncın yükselmesine, yüksek pompalama maliyetine ve korozyona neden olabilir.

Fırının içinde belli noktalarda buharlaşma nedeniyle kirlenme ve koklaşma oluşmasını önlemek için buharlaşma %80'i aşmamasına dikkat edilir.

Tüp boyutu ve geçiş sayısı bir arada kütle akış hızı, akış ihtiyacı ve sıvı basınç düşüşü gereksinimleri karşılayacak şekilde seçilir. Boru çapı normal olarak 3-8 inç aralığında, standart tüp boyutları arasından seçilir. Tasarım parametreleri standart boyutlara uymadığında standart olmayan boyutları da kullanılabilir. Isıtıcı tüpler genellikle karbon çelik, alaşımlı çelik veya paslanmaz çelik borulardan yapılır. Boru malzemesi hizmet ömrü, korozyon direnci ve maliyet esas alınarak belirlenir. Yüksek sıcaklıklarda daha kalın tüp veya alaşım-içeriği daha yüksek tüp kullanılması gerekir.

Ekonomik yığın sıcaklığı ve bağlı olarak optimum fırın verimi yakıt kalitesi, akışkan giriş sıcaklığı, istenen getiri oranında konveksiyon bölümüne yapılacak yatırımla orantılıdır. Konveksiyon bölümüne kalitesi ve ön ısıtıcı kullanımı verimi %90'lara çıkarmaktadır.

Fırıncı operasyonları verimliliği artırmak ve para kazanmak için optimize edilebilir. Fırıncı operasyonları ile gözlenen yaygın sorunlardan bazıları, düzensiz akış dağılımı, yüksek aşırı hava, yüksek yığın sıcaklığı, konveksiyon bölümünde kirlenme, alev sıkışması ve aşırılığdır. Bir ateşli ısıtıcı performansını optimize hem proses hem de yanma tarafında anahtar parametrelerin yakın takibini gerektirir. Bu anahtar parametrelerden bazıları şunlardır:

- Akış debisi ve sıcaklığı; çok geçişli fırın içinde tüplerde ile zayıf akım dağılımı bu geçiş içinde, aşırı ısınma koklaşma ve tüp yanıklarına neden olur. Düşük akım aşırı buharlaşmaya yol açabileceğinden her geçişte akış denetleyici kullanmak önemlidir. Düşük ve daha yüksek hızlar tüplerde erozyon ve titreşimlere neden olabilir. Her bir geçiş çıkışındaki sıcaklığın ölçümü ısı görevine bağlı olarak akış oranlarını ayarlamak için bir kılavuz olarak kullanılır.

- Yakıt ateşlemesi; yanma içinde ısı çıkışını hesaplamak için kullanılır. Basit bir yakıt ateşleme kontrol şeması, proses akışkanın çıkış sıcaklığını, brülör yakıt besleme basıncını ayar noktasının belirlenmesini sağlar. Tüp yüzey sıcaklığının ölçülmesi ateşleme sıklığının belirlenmesine rehberlik eder. Ölçüm için ısı çiftleri kullanılır.
- Baca gazı sıcaklığı; radyant bölüm çıkış, konveksiyon bölümü giriş ve çıkışındaki baca gazı sıcaklığının izlenmesi azami ateşleme hızı, ısıtıcı verimi ve konveksiyon bölümünde kirlenme oluşumunu önlemek için yararlıdır.
- Baca gazı emiş profili; brülör düzeyinde, radyant bölüm çıkışında, konveksiyon bölüm çıkışı ve baca damperi gibi çeşitli yerlerde emiş ölçülmelidir. Yetersiz bir emiş açıklığında baca gazı kaçağı iç pozitif basınca yol açabilir, diğer taraftan yüksek bir emiş daha fazla yanma hava çeker verimliliğini azaltır.
- Baca Gazı Analizi; radyant ve konveksiyon bölümlerin çıkışında yapılması önerilir. Baca gazı analizi yanma verimliliğinin maksimize yardımcı olur. Baca gazı içinde oksijen analizörü kullanılarak hava fazlalığı miktarı emiş miktarı değiştirilmesi suretiyle kontrol edilebilir.

Fırınlarda Yalıtım; Fırınlarda yalıtımında kullanılan iki metot vardır.

Sürekli rejim halinde çalışan fırınlarda ve fırın içindeki sıcaklık, basınç gibi atmosferik şartların önemli olduğu durumlarda, iç yüzeyler yüksek sıcaklıklara ve ateşe dayanıklı olan refrakter malzeme ile yapılır ve bunların dışına yalıtım uygulanır. Kısa süreli şarj edilen, kesintili çalışan ve fırın içindeki atmosferik şartların öneminin az olduğu durumlarda, yapılan kaplama işlemi kendiliğinden yalıtım görevi yapar.

Fırınlardan olan ısı kayıpları; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yolu ile fırın yüzeylerinden olan kayıplar, fırının tuğlaları arasında depolanan ısı, ısı kütlesi olarak kaybı. Sürekli rejim halinde çalışan fırınlarda yalıtımın amacı; fırının dış yüzeylerinden olan ısı kaybını önlemektir. Fırınlarda yalıtımında en yaygın olarak kullanılan metot sıcak yüzey tarafından yapılan yalıtım uygulamalarıdır. Çok iyi yalıtım malzemelerine sahip olan refrakter malzemelerdeki gelişmeler, düşük yoğunluktaki seramik yünlerinin ve küçük gözenekli yalıtım malzemelerinin kullanımını da beraberinde getirmiştir. Bu malzemelerin başlıca özellikleri; Düşük ısı iletkenlik, düşük ısı kütlesi ve ısı şoklarına karşı olan dirençtir. Kesintili çalışan fırınlarda, iç yüzeyden yapılan yalıtım uygulamalarında bu malzemelerin kullanılması, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır.

2. MATERYAL VE METOT İLE BULGULAR

2.1.Fırın Çalışma Sistemi

Tuzundan arındırılmış ham petrol ısı değıştircilerinden geçerek 200-230 °C ‘a kadar ısıtılmıştır, distilasyon ünitesine girebilmesi için için 340-350 °C ‘a kadar ısıtılması gerekir. Bu amaçla ham petrol iki ayrı koldan fırına girer. Operasyon için ünitenin ana unsurlarından biri olan fırın kontrolü ile operasyonun normal yürütülmesi sağlanır. Fırında 5 adet fuel oil, 5 adet LPG pilot bulunmaktadır. (Fırın süreç test bilgileri Ek Tablo 2.1 kısmında verilmiştir)

Fırın operasyonunu şu kısımlarda inceleyebiliriz.

2.1.1. Tüp Donanımı

2.1.1.1.Şarj tüpleri

Fırına şarj iki ayrı koldan girerek konveksiyon ve radyasyon tüplerinde devrini tamamladıktan sonra çıkışta tekrar birleşerek 340 -350 °C de destilasyon kolonuna verilir. Fırın girişinde bulunan kontrol vanalarıyla kontrol edilerek iki koldan giren ham petrol akımı transmitterler tarafından kaydedilerek her iki çıkış kolundaki sıcaklık eşitliği sağlanır. Sıcaklık kontrolü kolların giriş ve çıkışlarına konan termokapılları ile kontrol odasından takip edilir. Kollardan herhangi birinde akımın kesilmesi halinde fırın içinde tüpler zarar görecektir. Koklaşma yapacak ve tüpler yanacaktır. Bu tehlike kontrol vanalarının çıkış hattı üzerinde geyçler konarak basınç düşmelerinin kontrolüyle önlenir. Şarjın iki koldan fırına girmesi operasyon emniyeti ve kontrolü bakımından önemlidir.

Duman gazlarıyla ısı transferinin yapıldığı konveksiyon bölgesinde tüp sayısı 86 adettir. Alev ile direkt temas olmayan bu bölge tüpleri ekonomik yönüyle karbon çeliğinden yapılmıştır. Tüplerin delinmesi halinde fırın söndürülür. Kollara verilen buhar açılır. Fırına boğma buhar verilir.

Radyasyon bölgesinde tüp sayısı 44 adettir. Alevi gören bu yanma odası kısmında ısı iletimi radyasyon yoluyla. Her iki kolda da eşit sayıda 22 ‘şer tüp vardır. Fırın sıcaklığının yüksek olmasıyla tüpler krom molibdenli çelikten yapılmıştır.

2.1.1.2 Buhar tüpleri

Asfalt ünitesi buhar jeneratörlerinden, buhar atlatma vanası ve buhar pompalarının çıkışından alınarak basıncı 2.1 bara düşürülen buhar olarak kızdırılmak üzere (400-500 °C ‘a kadar) fırının konveksiyon bölgesinin üst kısmında duman gazlarıyla ısıtılır. Buhar tüplerine buhar üstten girer tüp demetlerinden geçtikten sonra kızgın buhar destilasyon kolonu, stripperlere ve asfalt kolonuna proses buharı olarak verilir. Burada baca gazı sıcaklığı standartlara düşürülmüş olurken ısı veriminde arttırılmış olur.

2.2. Yakıt Donanımı

Fırın yakıtı olarak fuel oil ve fuel gaz (LPG) kullanılmaktadır.

2.2.1. Fuel oil sistemi

Devri daim eden bir sistemdir. İcabında yakıtın % 100 ‘ü geri dönebilecek şekildedir. Ana fuel oil hattından gelen fuel oil fırın suhunetine göre PV-102 fuel oil basınç kontrol vanası kontrolünde F-101 burnerlerine gider. Her bir burner kontrol panelindeki butona basılarak devreye alınır veya devreden çıkarılır. Operasyonel şartlara göre kullanılmayan yakıt dönüş hattından geri gider. Basınç yükseldiği zaman fuel oil dönüş akımı az demektir. Şayet basınç düşük ise dönüş akımı fazladır. Burnerlerden fuel oil akışının düzenli olabilmesi için akış PV-102 kontrolündedir. Kontrol valfiyle fırına verilen yakıt miktarı fırın sıcaklığına (suhunete) göre azaltılır veya çoğaltılır

Bunun yanında fuel oilin tam yanmasını sağlamak için 10.5 barlık buhar hattından atomize buhar verilir. Yüksek basınçta buhar fuel oili fırın yanma odasına püskürterek pülverize olmasını sağlar. DPIC 103 buhar fark basınç kontrol vanası set edildiği değere göre çalışarak, fuel oil kontrol vanasından fazla bir basınçta; fuel oil ile buhar arasındaki diferansiyel fark basıncı sağlar. Diferansiyel fark basınç iyi bir yanma için önemlidir. Aradaki fark düşükse fuel oil atomize olmayacak ve iyi bir yanma olmaz (isli yanma vs. gibi bir yanma söz konusu olabilir). Buhar basıncı her zaman fuel basıncından yüksek olmalıdır.

Yakıt ne kadar iyi dağılırsa tam yanma o nispette iyi olur. Fuel oil burnerleri dumansız sarımtırak bir alevle yanmalı ve alev tüplere değmemelidir. Bütün bunlar atomize buhar miktarına bağlıdır. Fırın soğuk iken yakıt olarak mümkünse fuel oil kullanılmamalı. Zira henüz soğuk olan yanma odasında buhar basıncı ile fuel oil yanmadan tüpler üzerine sıçrama ihtimali vardır. Bu da tüplerin emniyeti bakımından istenmez. Fuel oil kesilmesi veya basıncının yükselmesi halinde her bir burnerın fuel blok vanaları derhal kapatılır, buhar ile

purge edilir. Fuel oil gelince veya basıncı düşünce tekrar birer birer yakılır. Burner bakıma alınırken de burnerın fuel oil hattı atlatma hattından alınan buhar ile temizlenir.

2.3. LPG Sistemi

D-107 LPG dramından alınan LPG, PCV-101 basınç düşürücü vanadan geçerek shut off vana (SDV 101) üzerinden F-101 fırınına pilotları yakmak üzere girer. Pilotların start butonları fırın altında bulunur. Butonlara basılarak aynı anda shut off vanada manuel olarak açılıp pilot yakılmış olur. Yakıt gazının dönüş hattı yoktur.

2.4. Buhar Sistemi

Fırın operasyonunda kullanılan 10,5 barlık buhar birçok gayelere hizmet eder. Bunu şu şekilde sıralayabiliriz.

2.4.1. Atomize Buhar

Yukarıda söylenildiği gibi amaç fuel oilin tam yanmasını sağlamaktır. 10.5 bar buhar ana hattından ayrılan bir kolla her biri elle idare edilen blok vanalarıyla tam açılarak brülöre verilir. Hatta kondense olan buhar ayırıcı ile kanala boşaltılır. Ayrıca temizleme amaçlı fuel brülöre giden hatlarda kullanılır. Atomize buhar miktarı yaklaşık olarak yakıt miktarının % 25'idir.

2.4.2 Emniyet Buharı

Fırın içinde tüp patlaması gibi hallerde tehlikenin önemine göre normal veya tehlikeli duruşa geçilir. Bu gibi bir durumda 10,5 bar boğma buhar vererek her hangi bir yangının önüne geçilir. Radyasyon tüplerinin olduğu bölgede iki koldan birer vana ile buhar hatları çekilmiştir. Ana kol üzerinde bulunan bir tek vana ile emniyet buharı açılır veya kapanır.

2.4.3. Temizleme Buharı

Fırın, ünite duruşlarında bakım esnasında tüplerin temizlenmesi gerekir ve biriken ham petrolün blown downa verilmesini sağlar. Devamında buhar outta kullanılır. Ayrıca Ünite devredeyken, fırın yüksek sıcaklıkta ise fırın her iki giriş kollarına 10,5 barlık buhar, ham petrol tüplerinde oluşabilecek koklaşmaları önlemek ve temizlemek amacıyla verilir.

2.5. Fan Donanımı

F-101 fırını için VSD-105 A ve VSD 105 B olmak üzere iki adet fan bulunmaktadır. Fanların görevi fırın içinde yanma için gerekli olan havayı sağlar, aynı zamanda yanma düzenini sağlıyor. Yani alev boyunu fanlardan alınan hava ile ayarlanırken, alevin toplu veya dağınık yanmasını da düzenler.

Hava fanlarından fırına verilen havanın miktarı FT-104, FT-105 hava akış transmitterlerinden okunur. Fırın içine verilen hava operasyonun önemli bir noktasıdır. Fırın içine verilen hava optimum olmalıdır. Hava fanlardan az verilirse yanma düzgün olmaz, çok fazla hava verilirse yakıt tüketimi artar. Hava fazlalık oranı % 20-25 dir.

Alışılmış uygulamalar da, işlem sıvısı ilk olarak konveksiyon bölümünde ön ısıtma bobini içinde daha sonra radyant bölüme alınarak daha fazla ısıtılır. Her iki bölümlerde ısı transferi radyasyon ve konveksiyonla gerçekleşse de esas transfer mekanizması radyasyondur. Kabaca fırın içinde toplam ısının akışkana olan ısı absorvesinin yaklaşık % 45-55'i radyant kısımda geçerken, toplam ısının yaklaşık% 25-45 i konveksiyon bölümünde akışkana transfer edilir ve baca gazlarıyla kaybolur.

Radyant bölümünde proses sıvılarıyla çoğunlukla alev doğrudan radyasyon tarafından ısıtılır. Bir fırının radyant bölümleri ve kalkan tüpler tarafından absorbe edilen ısının yaklaşık% 70-90 radyasyon tarafından transfer edilir. Bu açıkça radyasyon ile ısı transferi genel yakıtlı ısıtıcıların termal analiz ve tasarım için özel bir önem taşıdığını gösterir. İzolasyon olsa da gerçek yaklaşım için iletim ve taşınım mekanizmaları da kontrol edilmelidir.

- 1) Proses sıvı ve baca gazı sıcaklıkları.
- 2) Alev ve tüp deri veya tüp duvar sıcaklıkları.
- 3) Proses sıvı akış hızı.
- 4) Yakıt akış hızı ve bileşimi.

2.5. Kütle ve Enerji Analizi

Tablo 2.1. Fırının ortalama test parametre degerleri

Giriş Parametreleri			
No	Parametre Tipi	Miktar(kg/h)	Sıcaklık (°C)
1	Ham petrol	52000	180
2	Buhar (2.1 bar)	3000	134.7
3	Fuel oil	885	106
4	Atomize buhar (10.5 bar)	225.21	200
5	Hava	13806	40
Çıkış Parametreleri			
	Parametre Tipi	Miktar(kg/h)	Sıcaklık (°C)
6	Ham petrol	52000	375
7	Buhar	3000	400
8	Baca gazı	14912.79	190

2.5.1. Fırın Kütle Denge Analizi

Bu bölümde fırına giren ve çıkan maddeler arasında kütle denge analizi yapılmıştır. İşlem esnasında fırına giren maddeler; fuel oil, atomize buhar, yakma havası, ham petrol, buhar çıkan maddeler; ham petrol, buhar, baca gazı olarak belirlenmiştir.

$$\sum m_{giren} = \sum m_{çıkan} \quad (2.1)$$

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 = m_6 + m_7 + m_8 \quad (2.2)$$

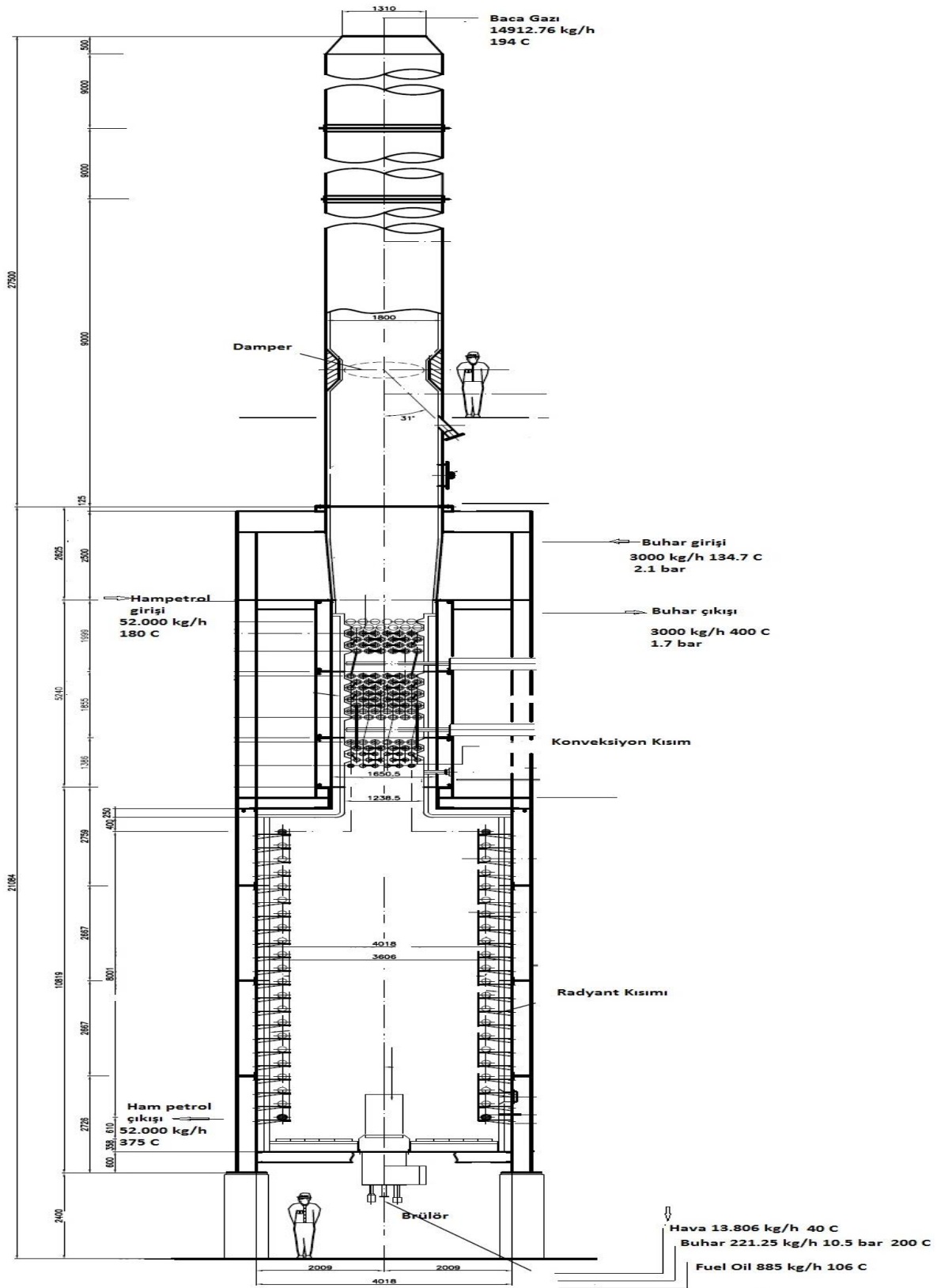
$$m_1 = m_6 \quad (2.3)$$

$$m_2 = m_7 \quad (2.4)$$

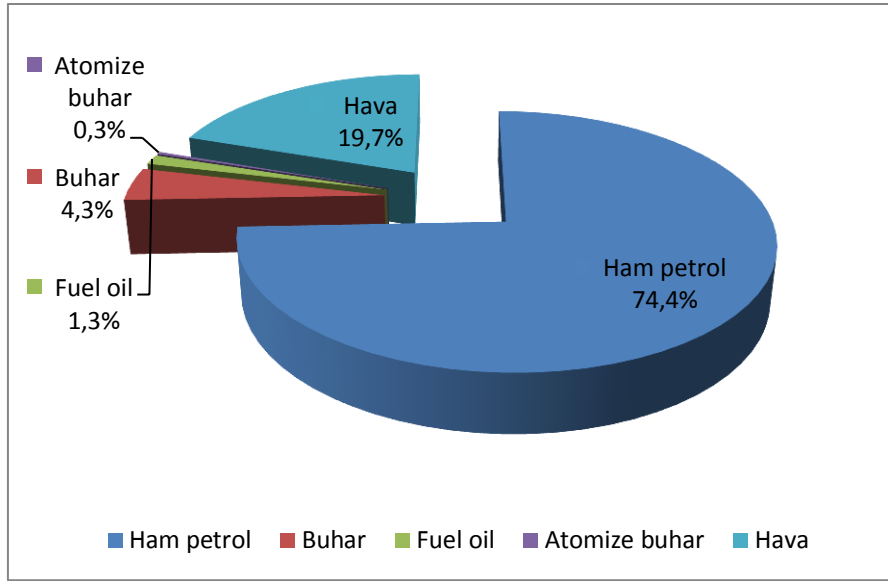
$$m_3 + m_4 + m_5 = m_8 \quad (2.5)$$

Tablo 2.2. Fırın kütle dengesi

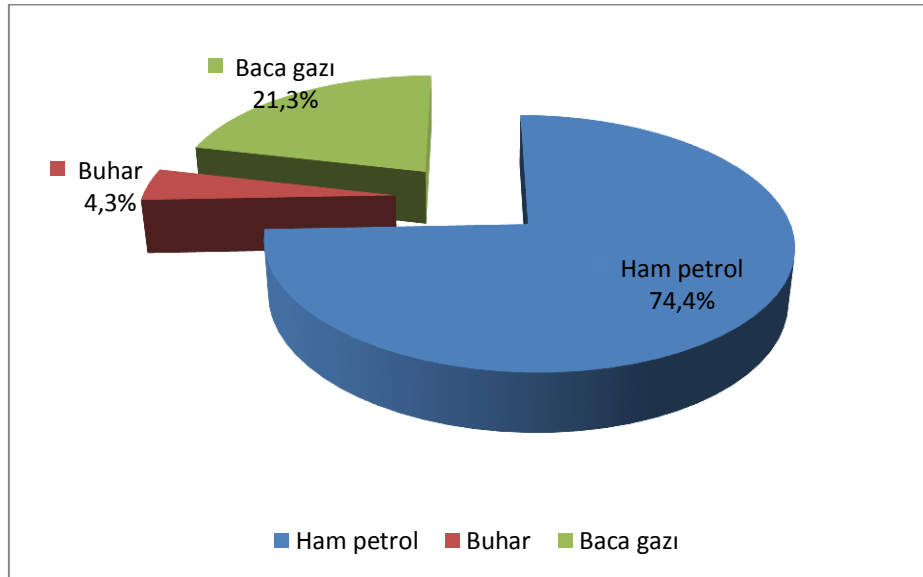
No	Giren Maddeler	Sıcaklık (°C)	Debi (kg/h)	Çıkan Maddeler	Sıcaklık (°C)	Debi (kg/h)
1	Ham petrol	180	52000			
2	Buhar	134.7	3000			
3	Fuel oil	106	885			
4	Atomize buhar	200	225.21			
5	Hava	40	13806			
6				Ham petrol	375	52000
7				Buhar	400	3000
8				Baca gazı	190	14912.79
Toplam			69916.21			69916.21



Şekil 2.1. Fırın kütle akış şeması



Şekil 2.2. Fırına giren maddelerin yüzdesel dağılımı



Şekil 2.3. Fırından çıkan maddelerin yüzdesel dağılımı

2.5.2. Fırın Enerji Analizi

$$\sum Q_{giren} = \sum Q_{çıkan} \quad (2.6)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \quad (2.7)$$

Fırına belli şartlarda giren ham petrol ve buhar son durumlarına göre değerlendirilebilir.

$$Q_3 + Q_4 + Q_5 = Q_{(6-1)} + Q_{(7-2)} + Q_8 + Q_9 \quad (2.8)$$

Sisteme enerji girişi;

Fuel oil'in yanma ve duyulur ısısı,

$$Q_3 = m_3 \times (lhv + c_p \Delta T) \quad (2.9)$$

Yakma havasının enerjisi;

$$Q_4 = m_4 \times h_4 \quad (2.10)$$

Atomize buharın enerjisi;

$$Q_5 = m_5 \times h_5 \quad (2.11)$$

Sistemden enerji çıkışı;

Fırında ham petrole enerji geçişi radyant ve konveksiyon olmak üzere iki kısımda incelenir.

$$Q_{(6-1)} = Q_{Rad.} + Q_{kon.} = Q_{R_{rad}} + Q_{R_{kon}} + Q_{kon.} \quad (2.12)$$

Radyant kısımda enerji geçişi ışıma ve konveksiyon şeklinde olur [55];

$$Q_{R_{rad}} = \sigma \cdot \alpha \cdot A_{cp} \cdot (T_{bg}^4 - T_{tc}^4) \quad (2.13)$$

A_{cp} = tüp sayısı x tüpler arası mesafe x efektif uzunluk x geçiş sayısı

$$Q_{R_{kon}} = h_c \cdot A_t \cdot (T_g - T_{tc}) \quad (2.14)$$

h_c ısı transfer film katsayısı (L/D oranına bağlı $L/D = (21084\text{mm})/(4016\text{mm}) = 5.25$ $L/D > 2$

$h_c = 3 \text{ Btu/ft}^2\text{hR}$)

Konveksiyon kısımda enerji geçişi;

$$Q_{kon.} = U_0 \cdot A_k \cdot LMTD \quad (2.15)$$

Baca gazından direk konveksiyon için ısı taşınım katsayısı ;

$$h_{bgk} = 0.018 \cdot c_{pbg} \cdot G_{\max}^{2/3} \cdot T_{ort}^{0.3} / D_0^{1/3} \quad (2.16)$$

$$c_{pbg} = 1.0775 + 1.1347 + 3.15 \times 10^{-4} \cdot T_{ort} \quad (2.17)$$

Baca gazından radyasyon taşınım katsayısı;

$$h_{bgr} = 9.210 - 2 \times 10^{-2} T_{ort} - 34 \quad (2.18)$$

Yalıtım duvarından radyasyon için $(0.1 \times (h_{bgr} + h_{bgk}))$ kabulüyle toplam taşınım katsayısı;

$$h_o = 1.1 \times (h_{bgr} + h_{bgk}) \quad (2.19)$$

Genel ısı transfer katsayısı;

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_i} + \left(\frac{R_i}{\lambda} + \ln \frac{R_o}{R_i} \right) + \frac{1}{h_o} \frac{S_i}{S_o} \quad (2.20)$$

Tüp cidarının ısı iletim katsayısı,

$$\lambda = -0.157 \times 10^{-4} \cdot T_{tc}^2 + 79.627 \times 10^{-3} T_{tc} \quad (2.21)$$

Akışkan tarafında ısı taşınım katsayısı,

$$h_i = 0.023 \times \frac{k}{D_i} \times Pr^{1/3} \times Re^{0.8} \times \left(\frac{\mu_{tak}}{\mu_{tc}} \right) \quad (2.22)$$

$$\ln \mu = -0.2207 - 2 \times \ln t + 0.5052 + \ln t - 11.82 \quad (2.23)$$

$$Re = uD / \nu \quad (2.24)$$

$$Pr = c_p \cdot \mu / k \quad (2.25)$$

Proses akışkanının ısı iletkenliği;

$$k = 0.497 - 29.4 \times 10^{-5} \times t_{ak} \quad (2.26)$$

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı (baca gazı ve proses akışkanı arasında),

$$lmt_d = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (2.27)$$

$$\Delta T_1 = T_{bg} - T_{akç} \quad (2.28)$$

$$\Delta T_2 = T_{bç} - T_{akg} \quad (2.29)$$

Buhara enerji geçişi,

$$Q_7 = m_{buh} \cdot \Delta h_{buh} \quad (2.30)$$

Baca gazıyla atılan enerji,

$$Q_8 = m_{bg} \cdot c_{pbg} \cdot T_{bg} \quad (2.31)$$

Genel ısı kayıpları,

Fırın büyüklüğüne bağlı olarak % (2-5) belirlenebilir. Burada %5 alınmıştır[55].

$$Q_9 = 0.05 \cdot (Q_3 + Q_4 + Q_5) \quad (2.32)$$

Enerji verimi; giren enerjinin çıkan ekserjiye oranından

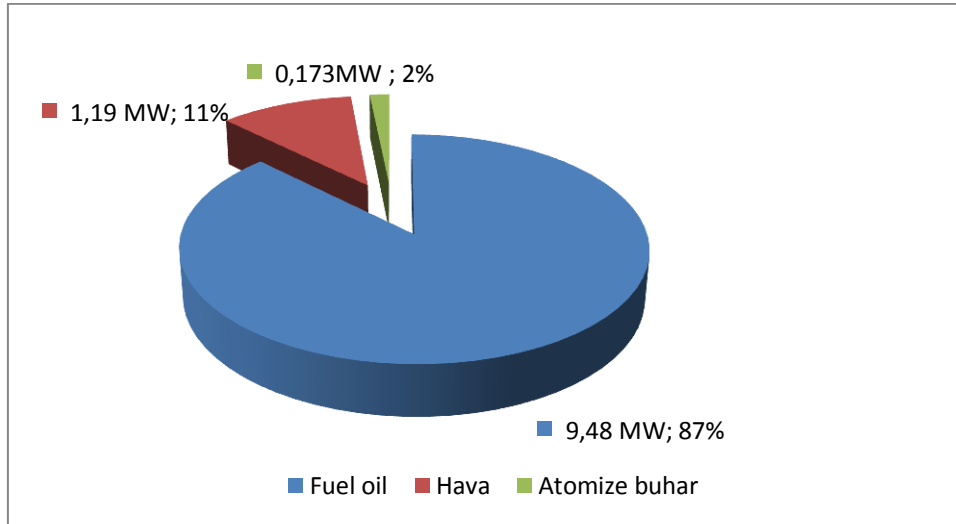
$$\eta_I = \frac{Q_{(6-1)} + Q_{(7-2)}}{Q_3 + Q_4 + Q_5} \quad (2.33)$$

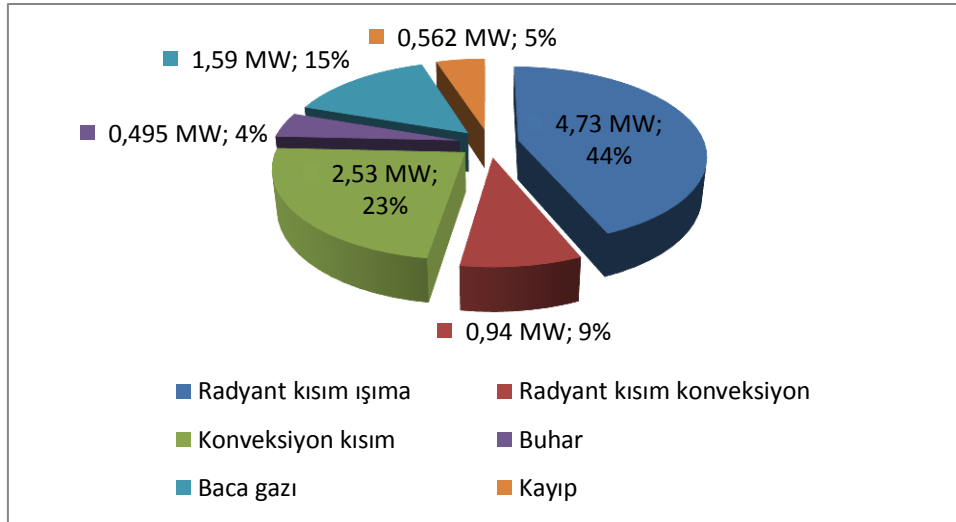
Tablo 2.3. Ek parametreler

Ek Parametreler			
		Miktar	Birim
1	Fuel oil LHV	38452	kJ/kg
2	Fuel oil özgöl ısısı	1.7	Kj/kgK
3	Havanın entalpisi(313K)	310.24	kJ/kg
4	Atomize Buharın entalpisi(200 °C)	2827.9	kJ/kg
5	Ort. Atık Gaz Sıcaklığı (Radyant)	800	°C
6	Tüp cidar sıcaklığı(Radyant)	415	°C
7	Ort. Atık Gaz Sıcaklığı Kon. Giriş	800	°C
9	Ort. Atık Gaz Sıcaklığı Kon. ıkış	210	°C
10	Atık gaz hızı (konv.)	1.8	(kg/s m2)
11	Fuel Oil Giriş Sıcaklığı	106	°C
12	Referans sıcaklığı	30	°C
14	Tüp sayısı(radyant)	44	
15	Tüp sayısı(konvek.)	86	
16	Tüpler arası mesafe	0.381	m
17	Efektif uzunluk	7.3	m
18	Geçiş sayısı	2	
19	Fırın L/D oranı	5.25	
20	Radyant boru alanı	144	m ²
21	Boru iç çapı (radyant)	0.0953	m
22	Boru dış çapı (radyant)	0.127	m
23	Boru iç çapı (konvek.)	0.07274	m
24	Boru dış çapı (konvek.)	0.0889	m
25	Tüp cidar sıcaklığı (konvek.)	323	°C
26	Buhar entalpisi (134.7 °C)	2726	kJ/kg
27	Buhar entalpisi (400 °C)	3320	kJ/kg

Tablo 2.4. Fırın enerji dengesi

	Giren maddeler	Miktar(kg)	Q (MW)
1	Fuel oil	885	9.48
2	Hava	13.806	1.19
3	Atomize buhar	225.21	0.173
Toplam			10.843
	Çıkan maddeler		Q (MW)
1	Ham petrol	52000	
	Radyant kısım ışıma		4.73
	Radyant kısım konveksiyon		0.94
	Radyant kısım toplam		5.67
	Konveksiyon bölüm		2.53
	Ham petrol toplam		8.2
2	Buhar	3000	0.495
3	Baca gazı	14912	1.59
4	Kayıp		0.562
Toplam			10.843
Isıl verim			% 80

**Şekil 2.4.** Giren madde enerji dağılımı



Şekil 6.5. Çıkan madde enerji dağılımı

2.6. Fırın Ekserji Analizi

Bu bölümde fırın ünitesine ekserji analizi uygulanarak ekserji verimi hesabı yapılacaktır. Ekserji analizinde sistemin ekserji değeri;

$$\dot{E} = \dot{E}_k + \dot{E}_p + \dot{E}_{ph} + \dot{E}_{ch} \quad (2.34)$$

değerlerinin toplamı ile belirlenmektedir. Sistem sürekli akış halinde olup çalışma esnasındaki sistemin kinetik ve potansiyel ekserji değişimleri ihmal edilerek hesaplamalara katılmamıştır.

Bu uygulamada,

$$\dot{E} = \dot{E}_k + \dot{E}_p \quad (2.35)$$

şeklinde fiziksel ve kimyasal ekserjiler toplamı şeklinde ekserji hesabı yapılacaktır.

Entalpi ve entropi değerleri,

$$\Delta h = m \cdot c_p \cdot \ln(T - T_0) \quad (2.36)$$

$$\Delta S = m \cdot c_p \cdot \ln(T / T_0) \quad (2.37)$$

Fiziksel ekserji;

farklı sıcaklık ve sabit basınçtaki katı, sıvı ve gaz karışımları için,

$$\dot{E}_{fiz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (2.38)$$

Kimyasal ekserji;

Gaz karışımları için,

$$E_{kim} = \sum x_i \cdot (e_{oi} + RT_o \ln[x_i]) \quad (2.39)$$

x_i bileşenleri ifade etmektedir.

Petrol türevi sıvı yakıtların kimyasal ekserjisi,

$$e_{kim} = -\Delta H_{yanma} x \left(1.02034 - 0.01381 \frac{H}{C} + 0.03374 \frac{O}{C} + 0.02593 \frac{N}{C} - 0.08408 \frac{S}{C} \right) \quad (2.40)$$

C, H,O, N ve S elementlerin yakıttaki ağırlık yüzdeleri [56].

Buhar ekserjisi,

$$\dot{E} = m \cdot c_p \cdot \left((T_2 - T_1) - T_o \cdot \ln(T_2 / T_1) \right) \quad (2.41)$$

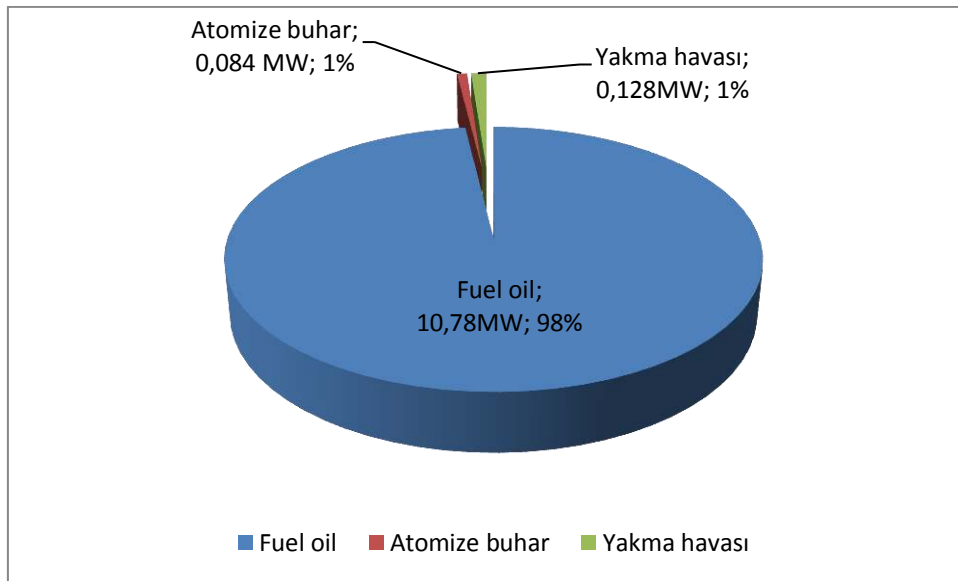
Ekserji hesabında kullanılan e_o standart kimyasal ekserji termodinamik tablolarından, ham petrole ait değerler işletmede verileri (Ek tablo 2.1) dikkate alınarak hesaplanmıştır

Tablo 2.5. Fırına Giren maddelerin ekserji analizi

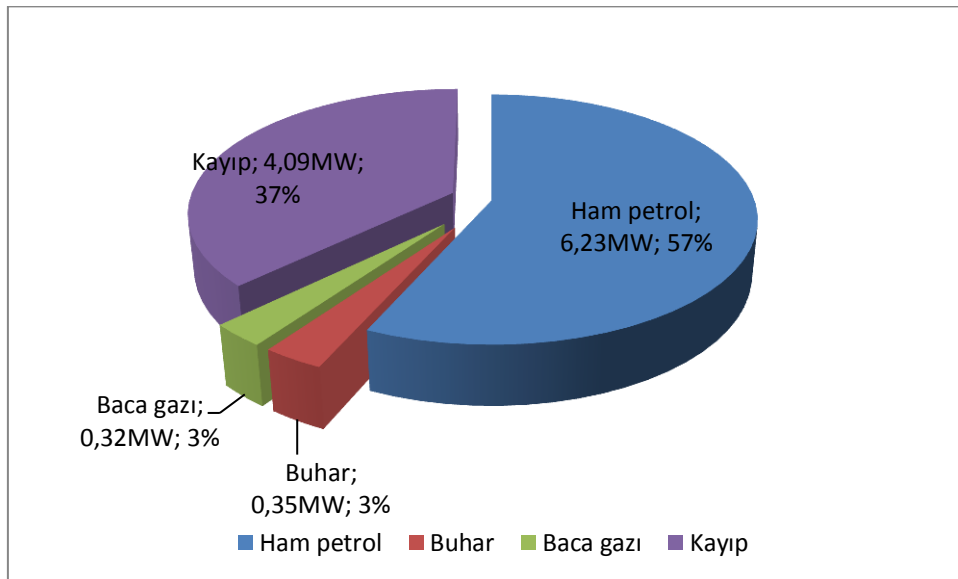
Madde	C _p (kJ/kgK)	M (kg/kmol)	e _o (kJ/kmol)	T ₀ (K)	T (K)	ln(T/T ₀)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi ΔH(kJ/h)	Entropi ΔS (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel Toplam Ekserji (kJ/h)
Fuel oil								885						38.819.640 (10,78MW)
Yakma Havası	1,006							13.806						
N ₂	1,04	28	720	298	313	0.049	0,296	10.906,7	170.144	557	4158	407.910	412.068	461827 (0,128MW)
O ₂	0,92	32	3970	298	313	0.049	0,26	2.899	40006	131	759,4	49.008	49759,4	
Atomize Buhar			538(kj/kg)	298	473			221,25	597.663	1385	184.926	119.032	303.957	303.957 (0,084MW)
														39.585.424 10,992MW

Tablo 2.6. Fırından çıkan maddelerin ekserji analizi

Madde	C _p (kJ/kgK)	M (kg/kmol)	e _o (kJ/kmol)	T ₀ (C)	T (C)	ln(T/T ₀)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi ΔH(kJ/h)	Entropi ΔS (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel Toplam Ekserji (kJ/h)
Ham Petrol	0,64 (kcal/kgC)			25	180 375			52000						22.428.000 (6,23MW)
Buhar	1,85 (kJ/kgC)			25	134,7 400			3000						1.260.000 (0,35MW)
Baca Gazı	1,065			T ₀ (K)	T (K)			14912						
N ₂	1,053	28	720	298	467	0.449	0,296	12157	2.163.423	5750	449.923	452.118	902.041	
O ₂	0,964	32	3970	298	467	0.449	0,26	559,2	91.151	242	19.035	25.380	44.415	
H ₂ O	1,950	18	9500	298	467	0.449	0,461	745,6	246.090	653	51.496	23.470	74.996	
CO ₂	0,996	44	19870	298	467	0.449	0,189	2833,3	476.912	1267	99.346	28.330	127.676	
CO	1,06	28	275000	298	467	0.449	0,296	0,12	21,5	0,05	6,6	3,3	9,9	
NO	1,025	30	88900	298	467	0.449	0,277	2,23	386	1,02	82	1,6	83,6	1.150.022 (0,32MW)
SO ₂	0,64	64	313400	298	467	0.449	0,129	5,96	645	1,7	138	693	813	
														24.838.022 (6,9 MW)
Ekserji verimi														% 60,3



Şekil 2.6 Ekserji giriş dağılımı



Şekil 2.7 Ekserji çıkış dağılımı

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan enerji analizine göre sistemde baca gazı atık ısısından faydalanılmadığı durumda enerji verimi % 76 iken, buhar kızdırma işleminde baca gazı atık ısısından faydalanılması durumunda % 4 lük bir kazanım söz konusu olup, verim % 80'e yükselmiştir. Yalıtım vb. nedenlerden dolayı belirlenemeyen ısı kayıpları da % 5 olarak tespit edilmiştir.

Yapılan ekserji analizine göre baca gazı atık ısısından faydalanılmadığı durumda ekserji verimi % 57 iken, buhar kızdırma işleminde baca gazı atık ısısından faydalanılması durumunda % 3'lük bir kazanım söz konusu olup verim % 60'a yükselmiştir. Ekserji kaybı % 40 olarak belirlenmiştir.

Bir proseste gerçekleşen enerji dönüşümünde (*fırın uygulamasında amaç ham petrolün sıcaklığını, distilasyon sıcaklığı olan 375 °C ye yükseltmektir*) şayet geriye kalan ve çevreye atılan enerjinin şartları (sıcaklık, basınç, entalpi ve entropi), mevcut çevre şartlarından daha yukarıda ise hala iş yapma potansiyeli vardır. Sonuç olarak ***atılan enerji, endüstride herhangi bir prosesten sonra çevreye atılmasına rağmen kullanılabilir enerji potansiyeli (ekserjisi) olan enerjidir.*** Atılan enerjinin şartları, çevre şartlarına yaklaştıkça iş potansiyeli (ekserji) azalır ve kullanılamaz enerji (atık enerji) miktarı artar. Atılan enerji şartları, çevreyle dengeye ulaştığında ise kullanılamaz enerji yani atık enerji haline gelir.

Atılan enerjinin geri kazanımında aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır;

- Teknik ve ekonomik açıdan kullanımı fizibl olmalı
- Bu enerji kazanımına ihtiyacı olmalı ya da kullanım alanı bulunmalı
- Atılan enerjinin sıcaklığı, talebe ve çevre emisyon kriterlerine uygun olmalı

Baca gazındaki enerji ve ekserji kayıplarının büyüklüğüne etki eden en önemli faktör, baca gazı sıcaklığıdır. Baca gazı sıcaklığı arttıkça, baca gazı enerji ve ekserji kayıpları da artmaktadır. Sistemde baca gazlarından yararlanılmaması durumunda, yüksek sıcaklıktaki baca gazı önemli ölçüde verim düşmesine neden olmaktadır. Baca gazı sıcaklığı arttıkça baca kayıpları da paralel olarak artmaktadır. Bundan dolayı baca gazının yüksek olması durumunda, baca gazı ısısından faydalanılması gerekir.

Ancak geri kazanım sürecinde sınırlayıcı faktör olarak çevre emisyon değerleri(NO_x , SO_x , CO, Kül.vb) önem kazanmaktadır. Kükürt ve kükürtlü bileşikler içeren yakıtlarda, baca gazı sıcaklığı 180°C altına düşürülmemeli, ($180\text{--}220^\circ\text{C}$) aralığında olmasına özen gösterilmelidir.

Aksi halde kükürt havanın içindeki oksijen ve hidrojenle birleşerek sülfürik asit oluşumuna yol açar. İdeal bir yanmada baca gazının, karbondioksit ve azot gazından oluşması gerekir.

Baca gazı kayıplarında diğer önemli bir etkende yanma işlemindeki fazla hava oranıdır (excess air). Fazla hava oranı artıkça, baca gazındaki enerji ve ekserji kayıpları da artmaktadır. Bu durum yanma denklemi balansı yapılarak daha net ortaya koyulabilir. Az hava oranıyla gerçekleşen yanma işlemi sonucu yakıt tamamıyla yanmayacak, yakıt tüketimi artacaktır. Orsat cihazı (baca gazı analizörü) ile baca gazı çözümlenmesi yapıldığında, fazla miktarda CO (Karbon monoksit) oluştuğu görülecektir. Bu oluşum da, ısı geçiş yüzeylerinde is ve kurum birikmesine yola açacak, dolayısıyla da ısı geçişini zorlaştıracaktır. Ayrıca zehirli bir gaz olan CO gazı, is ve kurum bacadan atıldığından dolayı çevre kirliliğine neden olur.

Sonuç itibari ile baca gazı kayıpları; hem fırın verimi, hem işletme ve ülke ekonomisi, hem de yaşadığımız çevre açısından büyük kayıptır. Endüstriyel fırınların enerji verimlerinin iyileştirilmesiyle bu sektördeki sanayicinin rekabet gücünün artacağı, birincil enerji kaynaklarının korunabileceği, iklim değişikliğine olan olumsuz etkilerinin azaltılabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Oymak, M., Can, M.,** 2007. Isıl Sistem Tasarımlarında Ekonomik Yalıtım Kalınlıklarının Ekserji Ekonomik Yöntemle Belirlenmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, Edirne.
- [2] **Paşa, Ç., Kıncay, O.,** 2006. Otomotivde Boyama Teknolojisi Ve Boya Kurutma Fırınının Ekserji Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [3] **Termodinamik**, Haziran 2008, Sayı - 190
- [4] **Usengül, E., Kopaç, M.,** 2010. Ereğli Demir Ve Çelik Fabrikaları Kok Fabrikası Batarya Fırınlara Ekserji Analizi Uygulaması, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak.
- [5] **Wall, G.,** 1986. “Exergy Flow in industrial processes”, Physical Resource Theory Group, Chalmers University of Technology and University of Göteborg, 96 Göteborg, **S-412**,Sweden.
- [6] **Apak, E., Köse, R.,** 2007. Bir Seramik Fabrikasındaki Enerji Ekserji Analizi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü ,Yüksek lisans tezi.
- [7] **Akyol, T.,** 2006. Binaların Isı Yalıtımında Enerji Ve Ekserji Analizi, Balıkesir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [8] **Çomaklı, K.,** 2003. Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [9] **Ülgen, K.,** 2005.Yapılarda Enerji Verimliliği ve Yönetimi Semineri, **10**, İyem, Gebze.
- [10] **Çengel, Y.A., Boles, M.A.,** 2008. Thermodynamics: an Engineering Approach, McGraw-Hill. 6th ed. New York.

- [11] **Büyüktür, A., R.**, 1991. Termodinamik, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- [12] **Özgener, L., Hepbaşlı, A.**, 2003. “Hvac Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliliği Ve Uygulamaları”, *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, Sergisi, S. 609-610, İzmir.
- [13] **Dinçer İ., Rosen M. A.**, 2005. “Thermodynamic Aspects Of Renewable And Sustainable Development”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 9, Pages **169-189**.
- [14] **Bejan, A., Tsatsaronis G., Moran M.**, 1995. Thermal Design And Optimization, Wiley – Interscience Publication, New York.
- [15] **Arıkoğlu, A.**, 1984. Ekserji Analizine Giriş, Ders Notları.
- [16] **Keenan, J., H.**, Thermodynamics, 3 Rd. Ed. Wiley, New York,.
- [17] **Wall, J., Cong M.**, 2001. “Un Exergy And Sustainable Development- Part 2; Indicators And Methods”, *Exergy Int. J.*, 1(4), Pages **217–233**.
- [18] **Şenel, A.**, 2003. Buhar Püskürtmeli Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Termoekonomik Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,
- [19] **Söğüt, M., Z.**, 2009. Çimento Sektöründe Döner Fırın Prosesinin Eksergoekonomik Optimizasyonu, Balıkesir Üniversitesi, Doktora Tezi Balıkesir.
- [20] **Akpınar, K., E., Midilli, A., Biçer, Y.**, 2005. Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer, *Energy Conversion and Management*, 46, 2530–2552.
- [21] **Mançuhan, E.**, 2009. Analysis And Optimization Of Drying Of Green Bricks In A Tunnel Dryer, *Drying Technology*, **27**, 5 707-713.
- [22] **Kanoğlu, M.**, 2000. Bir İkili Jeotermal Güç Santralinin Ekserji Analizi”, *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 15-17 Kasım, İstanbul, Proceedings: Cilt II, 501-510.

- [23] **Tekel, E., Öztürk, H., K.,** 2006. Termik Santrallerin Enerji Ve Ekserji Analizi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [24] **Dincer, I., Al-Muslim, H.,** 2001. Thermodynamic Analysis of Reheat Cycle Steam Power Plants, *International Journal of Energy Research*, Vol. **25**, 727-739.
- [25] **Doldersum, A.,** 1998. Exergy Analysis Proves Viability of Process Modifications, *Energy Conversion and Management*, Vol. **39**,: No.16-18, 1781-1789.
- [26] **Peinado, D.,** 2011. Energy and exergy analysis in an asphalt plant's rotary dryer *Applied Thermal Engineering*,**31**,1039-1049.
- [27] **Çerçi, Y.,** 2003. Performance Evaluation of a Single-Flash Geothermal Power Plant in Denizli, Turkey. *Energy*, Vol. **28**, 27-35.
- [28] **Çamdalı, Ü., Erişen E., Çelen, F.,** 2004. Energy and exergy analyses in a rotary burner with pre-calcinations in cement production, *Energy Conversion and Management*, Volume **45**, Issues 18-19, November 2004, Pages 3017-3031.
- [29] **Oliveira S., D.,** 1997. Junior and marco van hombeeck exergy analysis of petroleum separation processes in offshore platforms, *Energy Convers, Mgmt* Vol. **38**, No. 15-17, pp. 1577-1584.
- [30] **Acar, H., İ.,** 1997. Second Law Analysis of the Reheat – Regenerative Rankine Cycle, *Energy Conversion and Management*, Vol. **38**: No. 7, 647-657.
- [31] **Rosen, M., A., Dincer, İ.,** 2003. Exergoeconomic Analysis of Power Plants Operating on Various Fuels, *Applied Thermal Engineering*, Vol. **23**, 643-658.

- [32] **Fiaschi, D., Manfrida, G.,** 1998. Exergy Analysis of the Semi-Closed Gas Turbine Combined Cycle (SCGT/CC), *Energy Conversion and Managment*, Great Britain.
- [33] **Aljundi, I., H.,** 2009. Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan, *Thermal Engineering*, **29**, 324-328.
- [34] **De oliveira S., Hombeeck. M, V.,** 1997. exergy analysis of petroleum separation processes in offshore platforms, *Energy Convers, Mgmt* Vol. **38**, No. 15-17, 1577-1584,
- [35] **Lohani, S., P.,** 2010. Energy and exergy analysis of fossil plant and heat pump building heating system at two different dead-state temperatures, *Energy*, **35**, 3323-3331.
- [36] **Yıldız, A., Güngör, A.,** 2009. Energy and exergy analyses of space heating in buildings, *Applied Energy*, **86**, 1939–1948.
- [37] **Zhang, Y., Feng, J., Xu, J., Zhang, Y.,** 2011. Energy and exergy analyses of a mixed fuel-fired grate–kiln for iron ore pellet induration, *Energy Conversion and Management*, Volume **52**, Issue 5 , Pages 2064-2071.
- [38] **Verkhivker, G.,P., Kosoy, B.,V.,** 2001. On the exergy analysis of power plants, *Energy Conversion and Management*, **42**, 2053-2059.
- [39] **Dinçer, İ., Rosen, M., A.,** 2007. Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development, Edition: 1.
- [40] **Kanoğlu, M.,** 2007. Jeotermal Güç Santrallerinde İkinci Yasa Analizi, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri*, İzmir.
- [41] **Yakar, G., Karabacak, R., Altan, B.,** 2005. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri İle Mekanik Sıkıştırılmalı Soğutma Sistemlerinin Etkinlik Ve Ekserji Verimlilikleri Yönünden Karşılaştırılmaları, *Journal of Engineering Sciences II*, (2)161-169.
- [42] **Yüncü, H.,** 2010. Ekserji Analizi(İkinci Kanun Verimi ve Termoekonomi) , Ankara.

- [43] **Rivero R.**, 2002. Application of the exergy concept in the petroleum refining and petrochemical industry, *Energy Conversion and Management*, 43,1199-1220
- [44] **Hasanuzzaman, M., Saidur, R., Rahim, N., A.**, 2011. Energy, exergy and economic analysis of an annealing Furnace, *International Journal of the Physical Sciences*,. **6**, 1257-1266.
- [45] **Saidur, R., Ahamed, J., U., Masjuki, H., H.**, 2010. Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers, *Energy Policy*, 382188–2197.
- [46] **Aihua, J., Chi, M., Zhangming, S., Hongcai, W., Huang, Y., Xiaojun, Z.**, 2011. Exergy Analysis and Energy saving Evaluation of the Fuming Furnace Device in SKS Lead Smelting System, *International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring*.
- [47] **Oliveira, S, D., Nior, J., Hombeeck, M, H.**, 1997. Exergy Analysis Of Petroleum Separation Processes In Offshore Platforms, *Energy Convers. Mgmt* , **38**, 1577-1584.
- [48] **Taniguchi, H., Mouri, K., Nakahara T., Arai, N.**, 2005. Exergy analysis on combustion and energy conversion processes ,*Energy*, **30**, 111–117.
- [49] **Yi,M., Mao-fa J.**, 2010. Exergy Analysis and Optimization of Ladle Furnace Refining Process *Journal Of Iron And Steel Research, International*,1701, 24-28.
- [50] **Soma, S, K., Dattab, A.**, 2008. Thermodynamic irreversibilities and exergy balance in combustion processes, *Progress in Energy and Combustion Science*, **34**, 351-376.
- [51] **Araújo, A, C, B., Vasconcelos, L, G, S., Fossy, M, F., Brito R,P.**, 2007. Exergetic And Economic Analysis Of An Industrial Distillation Column, *Brazilian Journal Of Chemical Engineering* **24**, 461 – 469.
- [52] **Ganapathy, T., Alagumurthi, N., Gakkhar R, P., Murugesan, K.**, 2009. Exergy Analysis of Operating Lignite Fired Thermal Power Plant, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, **2** , 123-130.

- [53] **Özkan, D. B., Kiziler, O., Bilge D.,** 2012. Exergy Analysis of a Cogeneration Plant, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 61.
- [54] **Rosen, M, A., Le, M., N., Dinçer, İ.,** 2005. Efficiency analysis of a cogeneration and district energy system, *Applied Thermal Engineering*, **25**, 147–159.
- [55] **Al, H., Ibrahim, H.,** 2010. *Fired Process Heaters*.
- [56] **Govin, O., V., Diky, V. V., Kabo, G. J., Blokhin, A, V.,** 2000. Evaluation of the Chemical Exergy of Fuels and Petroleum Fractions, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **62**, 123-133.

EKLER

Ek Tablo 2.1.1 Fırın süreç bilgileri (19API)

YAKMALI ISITICI SÜREÇ ÖZELLİKLERİ									
YER: Batman Rafinerisi- BATMAN (TURKEY)					ÜNİTE: HAM PETROL DISTİLAYON ÜNİTESİ				
SERVİS: HAMPETROL ŞARJ FIRINI					MADDE: F-101				
BATMAN HAMPETROL (19.1 API) Tasarımı									
MADDE BAŞINA PROSES ŞARTLARI									
	Servis			BATMAN PETROL		LP BUHAR KIZDIRMA			
	Sıvı Buhar Basıncı > 0.5 barg (Evet/Hayır)			Evet		Evet			
	Akış Besleme : m³/h @ °C			62.3 @ 180					
	: kg/h			52000		3000			
	Akış Yoğunluğu @ 15 °C kg/m³			939,6					
				İÇ	DIŞ				
	Sıcaklık °C			180	375	134.7	400		
	Basınç kg/cm² g			5,40	1.7	2.11	1.70		
	Sıvı: Debi kg/h			52000	35337				
	Yoğunluk kg/m³			833,9	855,5				
	Viskozite cSt @ °C			6.8 @ 50	16815 @ 50				
	Viskozite cSt @ °C			2.2 @ 100	179 @ 100				
	Buhar : Debi kg/h			-	16663				
	Mol. Wt.			-	179,3				
	Yoğunluk kg/m³			-	9,49				
	Buharlaşma (kuru) % wt			32,0					
	Maksimum Boru içi hız m/s								
	Aşındırıcı Bileşenler			sülfür 4.45 wt% max					
	Kirlenme Faktörü (W/m² °C)⁻¹			0,00053					
	Max. İzin Ver. Hacim Sıcaklığı °C			388					
	Max. İzin Ver. İç Film Sıcaklığı °C								
	Max. İzin. Delta P kg/cm²			3.7		0.41			
	Isı Soğurma oranı av. W/m²			max 31400					
	tepe noktası W/m²			ort x 1.9					
	Sıvıdan Isı kazanımı MW			8,319		0.454			
	Proses Buhar enjekte			Yok					
	akış kg/h			-					
	sıcaklık °C			-					
	basınç kg/cm² g			-					
	Buhardan kazanılan ısı MW			-					
	Sargıya toplam ısı MW			8,319					
	toplam ısı emilimi MW			8.773					

Ek Tablo 2.1.2 Fırın süreç bilgileri (19API)

ISI DEĞİŞTİRGEÇİ PROSES ÖZELLİKLERİ

Yer: Batman Rafinerisi, Batman/TURKEY					ÜNİTE: HAM PETROL DISTİLYASYON ÜNİTESİ			
Servis: Ham petrol Şarj Fırını					Kısım: F-101			
BATMAN HAM PETROL (19.1 API) TASARIM ISI EĞRİLERİ								
Not: aksi belirtilmedikçe değerler yağ değeridir.								
		molar debi			Entalpi			
Sıcaklık °C	basınç. kg/cm2 g	buhar	sıvı	su	buhar	sıvı	su	total
		kg-mol/h			Mkcal/h			
180,00	5,40	0,0000	159,4400	0,0000	0,0000	4,1253	0,0000	4,1253
199,50	5,03	0,0000	159,4400	0,0000	0,0000	4,6971	0,0000	4,6971
219,00	4,66	0,0000	159,4400	0,0000	0,0000	5,2649	0,0000	5,2649
238,50	4,29	0,0000	159,4400	0,0000	0,0000	5,8384	0,0000	5,8384
246,44	4,11	0,0000	159,4400	0,0000	0,0000	6,1385	0,0000	6,1385
258,00	3,92	7,3200	152,1200	0,0000	0,1760	6,3776	0,0000	6,5535
277,50	3,55	23,1700	136,2700	0,0000	0,6485	6,6484	0,0000	7,2968
297,00	3,18	40,1000	119,3400	0,0000	1,2938	6,7801	0,0000	8,0739
316,50	2,81	56,3500	103,0900	0,0000	2,0805	6,7907	0,0000	8,8713
336,00	2,44	70,8200	88,6300	0,0000	2,9630	6,7135	0,0000	9,6765
355,50	2,07	82,9000	76,5400	0,0000	3,8816	6,5972	0,0000	10,4788
375,00	1,70	92,9100	66,5300	0,0000	4,8200	6,4583	0,0000	11,2783

		Entropi			gizli ısı
Sıcaklık °C	basınç. kg/cm2 g	buhar	sıvı	total	
		kcal/kg-mol °C			kcal/kg
180,00	5,40	0,0000	492,8091	492,8091	N/A
199,50	5,03	0,0000	500,5630	500,5630	N/A
219,00	4,66	0,0000	508,2120	508,2120	N/A
238,50	4,29	0,0000	515,7613	515,7613	N/A
246,44	4,11	0,0000	518,8063	518,8063	N/A
258,00	3,92	170,2052	540,7881	523,7655	55,1839
277,50	3,55	195,4248	589,6972	532,4027	53,3793
297,00	3,18	222,3197	648,2745	541,1352	52,0186
316,50	2,81	251,1136	713,0978	549,8152	50,7640
336,00	2,44	280,1332	780,6155	558,3197	49,1464
355,50	2,07	307,2930	847,3742	566,5553	47,2265
375,00	1,70	332,6897	912,2969	574,5439	45,4636

		kütleli debi			Moleküler ağırlık		kuru özgül kütle	
Sıcaklık °C	basınç. kg/cm2 g	buhar	sıvı	total	buhar	sıvı	buhar	sıvı
		kg/h					(0°C, Air)	
180,00	5,40	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	326,1300	0,0000	0,9396
199,50	5,03	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	326,1300	0,0000	0,9396
219,00	4,66	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	326,1300	0,0000	0,9396
238,50	4,29	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	326,1300	0,0000	0,9396
246,44	4,11	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	326,1300	0,0000	0,9396
258,00	3,92	833,0000	51167,0000	0,0000	113,6700	336,3600	3,9246	0,9446
277,50	3,55	2906,0000	49094,0000	0,0000	125,4400	360,2600	4,3307	0,9571
297,00	3,18	5483,0000	46517,0000	0,0000	136,7200	389,7800	4,7204	0,9734
316,50	2,81	8334,0000	43666,0000	0,0000	147,8800	423,5700	5,1057	0,9937
336,00	2,44	11243,0000	40757,0000	0,0000	158,7500	459,8800	5,4810	1,0170
355,50	2,07	14021,0000	37979,0000	0,0000	169,1200	496,2000	5,8389	1,0412
375,00	1,70	16663,0000	35337,0000	0,0000	179,3400	531,1300	6,1919	1,0644

Ek Tablo 2.1.3 Fırın süreç bilgileri (19API)

ISI DEĞİŞTİRGEÇİ PROSES ÖZELLİKLERİ	
Yer: Batman Rafinerisi, Batman/TURKEY	
Ünite.: HAM PETROL DİSTİLYASYON ÜNİTESİ	
Servis: Ham petrol Şarj Fırını	
Kısım: F-101	
BATMAN HAM PETROL (19.1 API) TASARIM ISI EĞRİLERİ(Devam)	

sıcaklık °C	basınç, kg/cm2 g	mol oranı		kütle oranı		kuru sıvı buhar oranı	
		buhar	sıvı	buhar	sıvı	buhar	sıvı
180,00	5,40	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
199,50	5,03	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
219,00	4,66	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
238,50	4,29	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
246,44	4,11	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
258,00	3,92	0,0459	0,9541	0,0160	0,9840	0,0213	0,9787
277,50	3,55	0,1453	0,8547	0,0559	0,9441	0,0731	0,9269
297,00	3,18	0,2515	0,7485	0,1054	0,8946	0,1365	0,8635
316,50	2,81	0,3534	0,6466	0,1603	0,8397	0,2060	0,7940
336,00	2,44	0,4442	0,5558	0,2162	0,7838	0,2759	0,7241
355,50	2,07	0,5200	0,4800	0,2696	0,7304	0,3409	0,6591
375,00	1,70	0,5827	0,4173	0,3204	0,6796	0,4001	0,5999

Genel Özellikler								
sıcaklık °C	basınç, kg/cm2 g	buhar				sıvı		
		MW	yoğunluk kg/m3	Normal Ktms/h	Z factor	MW	yoğunluk kg/m3	Özgül ağırlık
180,00	5,40	N/A	NA	N/A	N/A	326,1300	833,9400	0,9396
199,50	5,03	N/A	NA	N/A	N/A	326,1300	820,3600	0,9396
219,00	4,66	N/A	NA	N/A	N/A	326,1300	806,2600	0,9396
238,50	4,29	N/A	NA	N/A	N/A	326,1300	791,5400	0,9396
246,44	4,11	N/A	NA	N/A	N/A	326,1300	785,3400	0,9396
258,00	3,92	113,6700	13,7850	0,1795	0,9070	336,3600	784,0900	0,9446
277,50	3,55	125,4400	13,5680	0,5678	0,9076	360,2600	787,3300	0,9671
297,00	3,18	136,7200	13,0800	0,9828	0,9111	389,7800	795,5600	0,9734
316,50	2,81	147,6800	12,4050	1,3810	0,9164	423,5700	808,2300	0,9937
336,00	2,44	158,7500	11,6620	1,7355	0,9234	459,8800	824,1000	1,0170
355,50	2,07	169,1200	10,5700	2,0317	0,9315	496,2000	840,4800	1,0412
375,00	1,70	179,3400	9,4880	2,2770	0,9401	531,1300	855,5300	1,0644

termodinamik özellikler						
sıcaklık °C	basınç, kg/cm2 g	buhar				
		Enthalpy kcal/kg	Qp0 kcal/kg-C	Cp kcal/kg-C	Cp/(Cp-R) kcal/kg-C	Entropy kcal/kg-C
258,00	3,92	211,3570	0,6124	0,6231	1,0288	1,4973
277,50	3,55	223,1220	0,6298	0,6396	1,0254	1,5580
297,00	3,18	235,9490	0,6487	0,6578	1,0226	1,6261
316,50	2,81	249,6580	0,6682	0,6764	1,0203	1,6981
336,00	2,44	263,5460	0,6884	0,6936	1,0184	1,7646
355,50	2,07	276,8490	0,7018	0,7080	1,0169	1,8170
375,00	1,70	289,2640	0,7138	0,7190	1,0156	1,8551

Ek Tablo 2.1.4 Fırın süreç bilgileri (15API)

YAKMALI ISITICI SÜREÇ ÖZELLİKLERİ									
YER: Batman Rafinerisi- BATMAN (TURKEY)					ÜNİTE .: HAM PETROL DİSTİLYASYON ÜNİTESİ				
SERVİS: HAMPETROL ŞARJ FIRINI					MADDE.: F-101				
BATMAN HAMPETROL (15 API) Tasarımı									
MADDE BAŞINA PROSES ŞARTLARI									
	Servis			PROCESS BATMAN CRUDE			LP BUHAR KIZDIRMA		
	Sıvı Buhar Basıncı > 0.5 barg (Evet/Hayır)			Evet			Evet		
	Akış Besleme : m³/h @ °C			58.9 @ 180					
	: kg/h			52000			3000		
	Akış Yoğunluğu @ 15 °C kg/m³			975.9					
				İÇ		DIŞ			
	Sıcaklık °C			180		375		134.7	400
	Basınç kg/cm² g			5,40		1.7		2.11	1.70
	Sıvı: Debi kg/h			52000		35337			
	Yoğunluk kg/m³			882.3		807.0			
	Viskozite cSt @ °C			438 @ 50		525977 @ 50			
	Viskozite cSt @ °C			27.2 @ 100		2528 @ 100			
	Buhar : Debi kg/h			-		2500			
	Mol. Wt.			-		174,8			
	Yoğunluk kg/m³			-		9,20			
	Buharlaşma (kuru) % wt			41125,0					
	Maksimum Boru içi hız m/s								
	Aşındırıcı Bileşenler			sülfür 5.6 wt% max					
	Kirlenme Faktörü (W/m² °C)⁻¹			0,00053					
	Max. İzin Ver. Hacim Sıcaklığı °C			388					
	Max. İzin Ver. İç Film Sıcaklığı °C								
	Max. İzin. Delta P kg/cm²			3.7			0.41		
	Isı Soğurma oranı av. W/m²			max 31400					
	tepe noktası W/m²			ort x 1.9					
	Sıvıdan Isı kazanımı MW			8,311			0.454		
	Proses Buhar enjekte			yok					
	akış kg/h			-					
	sıcaklık °C			-					
	basınç kg/cm² g			-					
	Buhardan kazanılan ısı MW			-					
	Sargıya toplam ısı MW			8,311			0.454		
	toplam ısı emilimi MW			8.765					

Ek Tablo 2.1.5 Fırın süreç bilgileri (15API)

ISI DEĞİŞTİRGEÇİ PROSES ÖZELLİKLERİ	
Yer: Batman Rafinerisi, Batman/TURKEY	
Servis: Ham petrol Şarj Fırını	Ünite: HAM PETROL DİSTİLYASYON ÜNİTESİ
	Kısım.: F-101
BATMAN HAM PETROL (15 API) TASARIM ISI EĞRİLERİ	

Not: aksi belirtilmedikçe değerler yaşı değerlerdir.

		molar debi			Enthalpy			
sıcaklık °C	basınç kg/cm2	buhar	sıvı	su	buhar	sıvı	su	total
		kg-mol/h			Mkcal/h			
180,00	5,40	0,0000	47,1980	0,0000	0,0000	4,8178	0,0000	4,8178
199,50	5,03	0,0000	47,1980	0,0000	0,0000	5,4451	0,0000	5,4451
219,00	4,66	0,0000	47,1980	0,0000	0,0000	6,0900	0,0000	6,0900
238,50	4,29	0,0000	47,1980	0,0000	0,0000	6,7522	0,0000	6,7522
258,00	3,92	0,0000	47,1980	0,0000	0,0000	7,4312	0,0000	7,4312
266,47	3,74	0,0000	47,1980	0,0000	0,0000	7,7314	0,0000	7,7314
277,50	3,55	0,4700	46,7280	0,0000	0,0124	8,1172	0,0000	8,1296
297,00	3,18	2,1010	45,0970	0,0000	0,0696	8,7839	0,0000	8,8535
316,50	2,81	4,5920	42,6070	0,0000	0,1787	9,4230	0,0000	9,6016
336,00	2,44	7,5890	39,6090	0,0000	0,3373	10,0334	0,0000	10,3708
355,50	2,07	10,8930	36,3050	0,0000	0,5470	10,6118	0,0000	11,1588
375,00	1,70	14,3020	32,8960	0,0000	0,8075	11,1564	0,0000	11,9639

		Entropi			gizli ısı
sıcaklık °C	basınç kg/cm2	buhar	sıvı	total	
		kcal/kg-mol °C			kcal/kg
180,00	5,40	0,0000	2986,0607	2986,0607	N/A
199,50	5,03	0,0000	3014,7928	3014,7928	N/A
219,00	4,66	0,0000	3043,1358	3043,1358	N/A
238,50	4,29	0,0000	3071,1049	3071,1049	N/A
258,00	3,92	0,0000	3098,7133	3098,7133	N/A
266,47	3,74	0,0000	3110,6002	3110,6002	N/A
277,50	3,55	201,2573	3155,5253	3126,0658	75,0723
297,00	3,18	244,5588	3289,0065	3153,4732	69,4465
316,50	2,81	280,0809	3493,4413	3180,8344	60,6960
336,00	2,44	311,9196	3762,9678	3208,0597	53,3340
355,50	2,07	343,5734	4102,6984	3235,0928	48,1397
375,00	1,70	377,0670	4516,0720	3261,8866	44,4760

		kütleli debi			moleküler ağırlık		kuru özgül ağırlık	
sıcaklık °C	basınç kg/cm2	buhar	sıvı	su	buhar	sıvı	buhar	sıvı
		kg/h					(0°C, Aİ=1.0)	
180,00	5,40	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	1101,7300	0,0000	0,9759
199,50	5,03	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	1101,7300	0,0000	0,9759
219,00	4,66	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	1101,7300	0,0000	0,9759
238,50	4,29	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	1101,7300	0,0000	0,9759
258,00	3,92	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	1101,7300	0,0000	0,9759
266,47	3,74	0,0000	52000,0000	0,0000	0,0000	1101,7300	0,0000	0,9759
277,50	3,55	39,0000	51961,0000	0,0000	83,0900	1111,9900	2,8687	0,9763
297,00	3,18	213,0000	51787,0000	0,0000	101,4500	1148,3400	3,5025	0,9781
316,50	2,81	549,0000	51451,0000	0,0000	119,5000	1207,5900	4,1258	0,9810
336,00	2,44	1047,0000	50953,0000	0,0000	137,9100	1286,4000	4,7613	0,9848
355,50	2,07	1704,0000	50296,0000	0,0000	156,4300	1385,3700	5,4010	0,9893
375,00	1,70	2500,0000	49500,0000	0,0000	174,7700	1504,7300	6,0340	0,9941

Ek Tablo 2.1.6 Fırın süreç bilgileri (15API)

ISI DEĞİŞTİRGEÇİ PROSES ÖZELLİKLERİ								
Yer: Batman Rafinerisi, Batman/TURKEY					Ünite: HAM PETROL DİSTİLYASYON ÜNİTESİ			
Servis: Ham petrol Şarj Fırını					Kısım.: F-101			
BATMAN HAM PETROL (15 API) TASARIM ISIEĞRİLERİ(Devam)								
		mol yüzdesi		kütle yüzdesi		kuru sıvı buhar yüzdesi		
sıcaklık °C	basınç. kg/cm2	buhar	sıvı	buhar	sıvı	buhar	sıvı	
180,00	5,40	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	
199,50	5,03	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	
219,00	4,66	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	
238,50	4,29	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	
258,00	3,92	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	
266,47	3,74	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	
277,50	3,55	0,0100	0,9900	0,0008	0,9992	0,0012	0,9988	
297,00	3,18	0,0445	0,9555	0,0041	0,9959	0,0064	0,9936	
316,50	2,81	0,0973	0,9027	0,0106	0,9894	0,0158	0,9842	
336,00	2,44	0,1608	0,8392	0,0201	0,9799	0,0291	0,9709	
355,50	2,07	0,2308	0,7692	0,0328	0,9672	0,0459	0,9541	
375,00	1,70	0,3030	0,6970	0,0481	0,9519	0,0656	0,9344	
genel özellikler								
		buhar				sıvı		
sıcaklık °C	basınç. kg/cm2	MW	yoğunluk	Normal	Z factor	MW	yoğunluk	özgül
			kg/ms	Ktms/lt			kg/m3	
180,00	5,40	N/A	N/A	N/A	N/A	1101,7300	882,3200	0,9759
199,50	5,03	N/A	N/A	N/A	N/A	1101,7300	871,2400	0,9759
219,00	4,66	N/A	N/A	N/A	N/A	1101,7300	859,9600	0,9759
238,50	4,29	N/A	N/A	N/A	N/A	1101,7300	848,4400	0,9759
258,00	3,92	N/A	N/A	N/A	N/A	1101,7300	836,6100	0,9759
266,47	3,74	N/A	N/A	N/A	N/A	1101,7300	831,3400	0,9759
277,50	3,55	83,0900	8,5250	0,0105	0,9568	1111,9900	825,7200	0,9763
297,00	3,18	101,4500	9,3210	0,0471	0,9486	1148,3400	817,7900	0,9781
316,50	2,81	119,5000	9,7290	0,1029	0,9443	1207,5900	812,4100	0,9810
336,00	2,44	137,9100	9,8410	0,1701	0,9424	1286,4000	808,9900	0,9848
355,50	2,07	155,4300	9,6620	0,2442	0,9426	1385,3700	807,2900	0,9893
375,00	1,70	174,7700	9,1990	0,3206	0,9449	1504,7300	807,0100	0,9941
termodinamik özellikler								
		buhar						
sıcaklık °C	basınç. kg/cm2	Enthalpy	Cp0	Cp	Cp(Cp-R)	Entropy		
		kcal/kg	kcal/kg-C			kcal/kg-C		
297,00	3,55	326,3900	0,7684	0,7776	1,0258	2,4107		
316,50	3,18	325,6640	0,7677	0,7765	1,0219	2,3438		
336,00	2,81	322,3240	0,7638	0,7716	1,0190	2,2618		
355,50	2,44	320,9990	0,7617	0,7685	1,0168	2,1963		
375,00	2,07	323,0600	0,7631	0,7689	1,0150	2,1575		
277,50	1,70	0,0153	0,9847	0,0012	0,9988	0,0019		

Ek Tablo 2.1.5 Fırın süreç bilgileri (15API)

ISI DEĞİŞTİRGEÇİ PROSES ÖZELLİKLERİ	
Yer: Batman Rafinerisi, Batman/TURKEY	Ünite: HAM PETROL DISTİLYASYON ÜNİTESİ
Servis: Ham petrol Şarj Fırını	Kısım.: F-101
BATMAN HAM PETROL (15 API) TASARIM ISI EĞRİLERİ(Devam)	

termodinamik özellikler				
sıcaklık °C	basınç kg/cm ²	sıvı		
		Enthalpy kcal/kg	Cp kcal/kg-°C	Entropy kcal/kg-°C
180,00	5,40	92,6501	0,6102	2,7103
199,50	5,03	104,7140	0,6277	2,7364
219,00	4,66	117,1160	0,6449	2,7621
238,50	4,29	129,8500	0,6617	2,7875
258,00	3,92	142,9080	0,6781	2,8126
266,47	3,74	148,6800	0,6852	2,8234
277,50	3,55	156,2180	0,6940	2,8377
297,00	3,18	169,6170	0,7090	2,8641
316,50	2,81	183,1430	0,7231	2,8929
336,00	2,44	196,9140	0,7368	2,9252
355,50	2,07	210,9880	0,7502	2,9614
375,00	1,70	225,3790	0,7634	3,0012

Akım taşıma özellikleri - yağ						
		viskozite		ısıl iletkenlik		yüzey gerilimi
sıcaklık °C	basınç kg/cm2	buhar	sıvı	buhar	sıvı	
		cP		W/M-°C		
180,00	5,40	N/A	3,2447	N/A	0,0796	19,2800
199,50	5,03	N/A	2,3934	N/A	0,0780	18,1500
219,00	4,66	N/A	1,8422	N/A	0,0764	17,0410
238,50	4,29	N/A	1,4657	N/A	0,0748	15,9630
258,00	3,92	N/A	1,1962	N/A	0,0730	14,8890
266,47	3,74	N/A	1,1022	N/A	0,0722	14,4350
277,50	3,55	0,0127	1,0400	0,0429	0,0713	13,9840
297,00	3,18	0,0122	0,9985	0,0418	0,0696	13,4130
316,50	2,81	0,0119	1,0274	0,0419	0,0678	13,0740
336,00	2,44	0,0117	1,1242	0,0425	0,0660	12,8830
355,50	2,07	0,0115	1,3294	0,0432	0,0643	12,8190
375,00	1,70	0,0114	1,7645	0,0441	0,0625	12,8680

Akım taşıma özellikleri - yağ						
		viskozite		ısı iletkenlik		yüzey genilimi
sıcaklık °C	basınç kg/cm2	buhar	sıvı	buhar	sıvı	
		cP		W/M-°C		
180,00	5,40	N/A	3,2447	N/A	0,0796	19,2800
199,50	5,03	N/A	2,3934	N/A	0,0780	18,1500
219,00	4,66	N/A	1,8422	N/A	0,0764	17,0410
238,50	4,29	N/A	1,4657	N/A	0,0748	15,9630
258,00	3,92	N/A	1,1962	N/A	0,0730	14,8890
266,47	3,74	N/A	1,1022	N/A	0,0722	14,4350
277,50	3,55	0,0127	1,0400	0,0429	0,0713	13,9840
297,00	3,18	0,0122	0,9985	0,0418	0,0696	13,4130
316,50	2,81	0,0119	1,0274	0,0419	0,0678	13,0740
336,00	2,44	0,0117	1,1242	0,0425	0,0660	12,8830
355,50	2,07	0,0115	1,3294	0,0432	0,0643	12,8190
375,00	1,70	0,0114	1,7645	0,0441	0,0625	12,8680

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Z. IŞIK 1980 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlköğrenimini Diyarbakır Mehmetçik ilkokulunda, orta öğrenimini Özel Amid Lisesinde, lise öğrenimini Ziya Gökalp Lisesinde tamamladı. 1999 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2004 yılında mezun oldu. İş hayatına Diyarbakır ilinde kurulu bulunan Kralkızı HES' de işletme sorumlusu olarak başladı ve burada 4,5 yıl çalıştıktan sonra 2010 yılında Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı görevine devam etmektedir.