



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**SERAMİK FIRINLARINDA ATIK BACA GAZINDAN
ENERJİ GERİ KAZANIMI VE BİR UYGULAMA**

Erhan MADAN
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. A. Fevzi SAVAŞ

BİLECİK, 2014



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

**SERAMİK FIRINLARINDA ATIK BACA GAZINDAN
ENERJİ GERİ KAZANIMI VE BİR UYGULAMA**

Erhan MADAN

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. A. Fevzi SAVAŞ

BİLECİK, 2014



BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSITY
Graduate School Of Sciences
Department of Mechanical And Manufacturing Engineering


**ENERGY RECOVERY FROM WASTE HEAT
CHIMNEY IN CERAMIC KILNS AND AN
APPLICATION**

Erhan MADAN

Master's Thesis

Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. A.Fevzi SAVAŞ

BİLECİK, 2014

 <p>BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</p>	<p>YÜKSEK LİSANS <u>JÜRİ ONAY FORMU</u></p>
--	---

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından tarihinde tez savunma sınavı yapılan Erhan Madan'ın "Seramik Fırınlarında Atık Baca Gazından Enerji Geri Kazanımı ve Bir Uygulama başlıklı tez çalışması Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI): Yrd. Doç. Dr. A.Fevzi SAVAŞ

ÜYE: Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Hasan YAMIK

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bilindiği gibi ÷lkemizde enerji kullanımı sanayi, binalar ve ulaştırma olmak üzere üç ana grupta gerçekleştirilmektedir. Bunlardan sanayi sekt÷r÷, ÷lkemizdeki nihai enerji t÷ketimi içindeki yaklaşık %36 ve elektrik t÷ketimindeki %55 düzeyindeki payı ile önemli bir yere sahiptir. Sanayi sekt÷r÷, gerek yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip olması, gerekse de sanayide t÷ketilen enerjinin çoğunlukla ticari enerji olması sebebiyle enerji tasarrufu çalışmalarında öncelikle ele alınması gereken bir sektördür. Bu çalışmada da yoğun enerji t÷keten endüstri kollarından biri olan seramik sektöründe, bir vitrifiye seramik fırınında enerji verimliliğini arttırmak için fırın atık ısısından yararlanarak, sıcak su eldesi için bir ekonomizer tasarlanmış ve uygulaması yapılarak sonuçları ve faydaları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

Ekonomizer, seramik fırını, enerji, enerji verimliliği, atık ısı.

ABSTRACT

As is known in our country energy use in industry, buildings and transport is carried out in three main groups. These industrial sector, about 36% of the final energy consumption in our country and with the share of 55% in electricity consumption has an important place. The industrial sector have a high potential for energy savings and as well as commercial energy consumed in industry, mostly due to the energy saving energy is a sector that needs to be addressed primarily in the energy saving projects. In this study, high energy consuming industries is one of the ceramic industry and a sanitaryware ceramic kiln energy efficiency in order to increase the kiln waste heat leveraging produce hot water for an heat exchanger designed and implemented and the results and benefits are evaluated.

Key Words:

Heat exchanger, ceramik , waste heat, energy saving, energy efficiency.

TEŐEKKÖR

Seramik fırınlarından atık ısı geri kazanımı ve bir uygulama başlıklı bu projenin hazırlanması sırasında desteklerini esirgemeyen çok değerli hocam ve tez danışmanım sayın Yrd.Doç. Dr. Ahmet Fevzi Savaş'a teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında yardımları için Eczacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ő. Bakım-Onarım Müdürlüğü ve bakım personeline teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünyada Enerji Genel Durumu.....	1
1.2. Türkiye’de Genel Enerji Durumu.....	3
1.2.1. Birincil Enerji Kaynaklarımız ve Tüketimimiz.....	4
1.3. Sanayi Sektöründe Enerji Kullanımı ve Verimlilik.....	9
1.4. Türkiye Seramik Sektöründe Enerji Kullanımı.....	10
1.4.1. Sektör Tüketiminin Genel Tüketim ile Mukayesesi.....	10
1.4.2. Seramik Kaplama Malzemeleri.....	10
1.4.3. Seramik Sağlık Gereçleri.....	11
1.4.4. Sektör Enerji Tüketiminin Parasal Değeri.....	11
2. TÜRKİYE SERAMİK SEKTÖRÜ	12
2.1. Seramik Endüstrisinin Sektörel Dağılımı.....	12
2.2. Seramik Kaplama Malzemeleri.....	12
2.3. Porselen, Sofra ve Süs Eşyaları Sanayii.....	13
2.4. Refrakter Sanayii.....	14
2.5. Vitrifiye Seramik Sektörü.....	16
2.6. Teknik Seramik Sektörü.....	16
2.7. Mevcut Durum.....	17
3. VİTRİFİYE ÜRETİM SÜREÇLERİ	19
3.1. Tanım.....	19
3.2. Üretim Prosesi.....	19
3.3. Tasarım ve Kalıp Hazırlama.....	20
3.4. Hammadde, Çamur ve Sır Hazırlama.....	22
3.4.1. Çamur Hazırlama.....	22
3.4.2. Sır Hazırlama.....	23
3.5. Şekillendirme.....	23
3.6. Kurutma.....	26
3.7. Rötüş.....	27

3.8. Sırlama.....	28
3.9. Pişirme.....	28
4. ATIK ISI KAVRAMI VE YARARLANMA YÖNTEMLERİ.....	30
5. ATIK ISIDAN YARARLANMA SİSTEMLERİ.....	34
5.1. Sanayide Isı Geri Kazanımının Önemi.....	34
5.2. Atık Isıdan Doğrudan Yararlanma Sistemleri.....	35
5.3. Atık Isıdan Dolaylı Yararlanma Sistemleri.....	36
5.4. Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	36
5.4.1. Rejeneratörler.....	38
5.4.1.1. Sabit Kanatlı Rejeneratörler.....	38
5.4.1.2. Döner Rejeneratörler.....	41
5.4.2. Reküperatörler.....	42
5.4.3. Isı Borulu Sıcaklık Değiştiricileri.....	43
5.4.4. Gaz Sıvı Isı Değiştiricileri.....	45
5.4.5. Kanatcıklı Boru Isı Değiştiricileri.....	45
5.4.6. Atık Isı Kazanları.....	46
5.4.6.1. Duman Borulu Atık Isı Kazanları.....	46
5.4.6.2. Su Borulu Atık Isı Kazanları.....	48
5.4.7. Ekonomizerler.....	50
5.4.8. Kızdırıcılar.....	51
6. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN TEMEL TASARIM YÖNTEMLERİ.....	53
6.1. Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesabı.....	56
6.2. Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı Hesabı.....	57
6.3. Çok Geçişli ve Ters Akışlı Isı Değiştiricilerinde Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı ve F Düzeltme Faktörü.....	58
7. ATIK ISI PROJESİNİN UYGULANMASI.....	61
7.1. Fırınlara Atık Isı Verileri ve Ekonomizer Hesapları.....	64
7.2. Ekonomizerlerin Devreye Alınması Sonrası Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması.....	71
7.3. Proje Öncesi ve Sonrası Fırın Enerji Denkliği.....	73
7.4. Yatırımın Geri Dönüş Süresi.....	81
8. SONUÇ.....	82
9. KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 1.1:	Dünya fosil yakıt rezervi.....	4
Çizelge 1.2:	Türkiye birincil enerji kaynakları rezervi 2010 yılı.....	5
Çizelge 1.3:	Dünya birincil enerji arzı	5
Çizelge 1.4:	Türkiye ve AB’ de genel enerji tüketiminin kaynaklara dağılımı...	6
Çizelge 2.1:	Türkiye seramik kaplama sektöründe üretim yapan kuruluşlar.....	13
Çizelge 2.2:	Seramik sağlık gereçleri sektöründeki kuruluşlar.....	18
Çizelge 4.1:	Çeşitli proses sonu atılan enerji kaynakları ve sıcaklık aralıkları...	31
Çizelge 7.1:	Fırın 1, 2, 3 ve 4’e ait atık ısı verileri.....	64
Çizelge 7.2:	Fırın 1,2,3,4. Fırınlara ekonomizer etiket bilgileri.....	67
Çizelge 7.3:	Fırın 5 ve 6 atık ısı verileri.....	68
Çizelge 7.4:	Fırın 7 atık ısı verileri.....	68
Çizelge 7.5:	Fırın 5 ve 6 Ekonomizerleri etiket bilgileri.....	69
Çizelge 7.6:	Fırın 7 Ekonomizeri etiket bilgileri.....	69
Çizelge 7.7:	Proje sonrası gerçekleştirilen toplam ısı geri kazanım miktarı.....	70
Çizelge 7.8:	Kazan gaz tüketim miktarları 2011 (ekonomizersiz durum).....	71
Çizelge 7.9:	Ekonomizerli ve ekonomizersiz durumda gaz tüketiminin değişimi.....	72
Çizelge 7.10:	Fırına giren ve çıkan kütleler ve özellikleri.....	75
Çizelge 7.11:	Fırına giren ve çıkan maddelerin kütle analizi.....	76
Çizelge 7.12:	Fırına giren maddelerin enerji değeri.....	77
Çizelge 7.13:	Fırından çıkan maddelerin enerji değeri.....	78
Çizelge 7.14:	Ekonomizerlerin yatırım tutarı.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Dünya enerji tüketim miktarları (2005-2030).....	2
Şekil 1.2: Dünya enerji kaynaklı karbondioksit emisyonu (2005-2030).....	3
Şekil 1.3: 2001-2012 Türkiye genel enerji dengesi.....	6
Şekil 1.4: Türkiye birincil enerji tüketiminin gelişimi.....	7
Şekil 1.5: Enerjide dışa bağımlılık (2003).....	8
Şekil 1.6: Kişi başı toplam enerji tüketimi (2003).....	8
Şekil 1.7: Enerji yoğunluğu (2004).....	8
Şekil 3.1: Vitrifiye üretim süreçleri.....	20
Şekil 3.2: İş kalıbı.....	21
Şekil 3.3: Döküm ile şekillendirme.....	25
Şekil 3.4: Döküm ile şekillendirme.....	25
Şekil 3.5: Döküm kısmından bir görüntü.....	25
Şekil 4.1: Enerji kaynağının sıcaklığına bağlı olarak atılan enerjideki ekserji ve atık enerji oranlarının değişimi.....	30
Şekil 4.2: Proses sonu sistemden atılan enerjinin geri kazanımının şematik gösterimi.....	33
Şekil 5.1: Isı değiştiricilerin sınıflandırılması (Altınışık, 2003).....	37
Şekil 5.2: Sabit kanatlı rejeneratör.....	39
Şekil 5.3: Hava soğutulması için kullanılan rejeneratör.....	40
Şekil 5.4: Döner tip rejeneratör.....	41
Şekil 5.5: Isı tekeri.....	43
Şekil 5.6: Termosifon sisteme göre çalışan ısı borusu.....	43
Şekil 5.7: Kılcal sisteme göre çalışan ısı borusu.....	44
Şekil 5.8: Kanatçıklı borulu ısı değiştirici.....	46
Şekil 5.9: Dikey tip duman borulu atık ısı kazanı.....	47
Şekil 5.10: Yatay borulu atık ısı kazanı.....	48
Şekil 5.11: Su borulu atık ısı kazanı.....	49
Şekil 6.1: Isı değiştiricilerin akış şekline göre sınıflandırılması.....	53
Şekil 6.2: Ters akışlı çok geçişli ısı değiştiriciler.....	54

Şekil 6.3:	Paralel Akım, Ters Akım, Buharlaştırıcı ve Yoğuşturucu Isı Değişiricilerinde Akışkan Sıcaklığı Değişimi.	54
Şekil 6.4:	Ters akımlı ve tek geçişli bir ısı değiştiricisi.	57
Şekil 6.5:	Bir gövde geçişli ve ikinin katları boru geçişli ısı değiştiricilerinde düzeltme faktörü.	59
Şekil 6.6:	İki gövde geçişli ve dördün katları ısı değiştiricilerinde düzeltme faktörü.	59
Şekil 6.7:	Akışkanlardan biri karışan diğeri karışmayan tek geçişli ve çapraz akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme faktörü.	60
Şekil 6.8:	Her iki akışkanın karışmadığı tek geçişli ve çapraz akışlı bir ısı değiştiricisinde düzeltme faktörü.	60
Şekil 7.1:	Atık ısı ekonomizerleri ve atık ısının klimalarda değerlendirilmesi.	63
Şekil 7.2:	İklmendirme santrali kanal yapısı.	66
Şekil 7.3:	Ekonomizer yandan görünüşü.	67
Şekil 7.4:	Ekonomizer kanal içindeki ısı değiştirici borular.	67
Şekil 7.5:	Ekonomizer montajından sonraki görünüm.	68
Şekil 7.6:	Fırın 5 atık ısı ekonomizeri.	70
Şekil 7.7:	Fırın 4 atık ısı ekonomizeri.	70
Şekil 7.8:	Fırın 7 atık ısı ekonomizeri montajı.	70
Şekil 7.9:	Ekonomizer sonrası doğalgaz tüketiminin değişimi.	73
Şekil 7.10:	Fırın kütle akış diyagramı.	74
Şekil 7.11:	Seramik fırını kütle denkliği şematik gösterimi.	74
Şekil 7.12:	Fırına giren kütlelerin yüzdesel analizi.	76
Şekil 7.13:	Fırından çıkan kütlelerin yüzdesel analizi.	77
Şekil 7.14:	Fırına giren maddelerin enerji değerleri dağılımı.	78
Şekil 7.15:	Fırından çıkan maddelerin enerji değerleri dağılımı.	79
Şekil 7.16:	Fırının enerji akış diyagramı.	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Sm^3	Standart metreküp, m^3
m^3	Metreküp, m^3
ΔT	Sıcaklık farkı, $^{\circ}C$, $^{\circ}K$
Q	Isı, enerji, kcal, kW, kJ
h	Entalpi, kJ/kg
m	Akışkan kütleli debi, kg/h
T	Sıcaklık, $^{\circ}C$
C_p	Özgül ısı, kcal/kg $^{\circ}C$
U	Toplam ortalama ısı transfer katsayısı, $W/m^2^{\circ}K$
A	Alan, m^2
ΔT_m	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, $^{\circ}C$
R_t	Toplam ısı direnç, $m^2^{\circ}K/W$
t	Kalınlık, m
k	Isı iletim katsayısı, $W/m^2^{\circ}K$
h	Isı taşınım katsayısı, $W/m^2^{\circ}K$
F	Düzeltilme faktörü
kW	Kilowatt
H_o	Yakıt alt ısı değeri kcal/ m^3
m_c	Soğuk akışkanın kütleli debisi, kg/h
m_h	Sıcak akışkanın kütleli debisi, kg/h
C_{pc}	Soğuk akışkanın özgül ısı, kcal/kg $^{\circ}C$
C_{ph}	Sıcak akışkanın özgül ısı, kcal/kg $^{\circ}C$
d	Boru çapı, metre
$Q_{çikan}$	Çıkan enerji, kJ/h
Q_{giren}	Giren enerji kJ/h
$Q_{kayıp}$	Kayıp enerji, kJ/h
φ	Verim

Kısaltmalar	Açıklama
TEP	Ton eşdeğer petrol
mtep	Milyon ton petrol eşdeğeri
AB	Avrupa Birliği
kgep	Kilogram eşdeğer petrol
NG	Doğal gaz
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz
LPG	Likit petrol gazı
SKM	Seramik kaplama malzemeleri
KH	Kontrol Hacmi

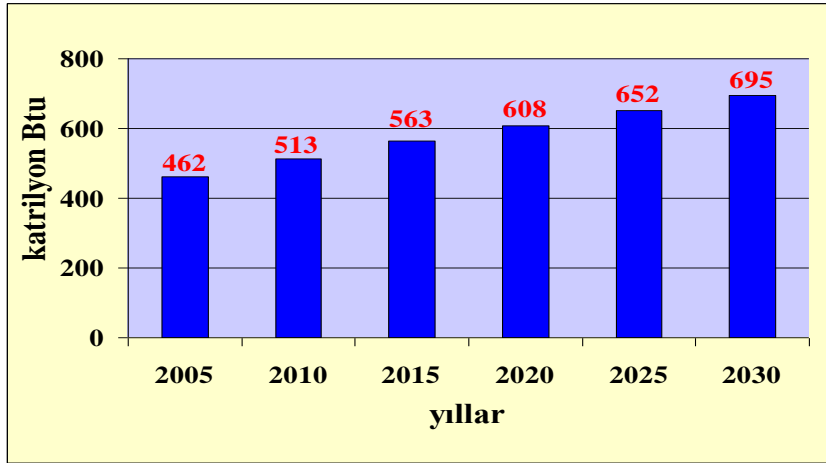
1. GİRİŞ

Enerji az ya da çok her alanda kullanılan bir kaynaktır ve özellikle üretim maliyetleri içerisinde ağırlıklı bir yer tutmaktadır. Günümüzde enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Bugün dünya genelinde enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmektedir. Bir yandan tükenen fosil yakıtların yerine alternatif enerji kaynakları aranırken diğer yandan da mevcut kaynakların etkin ve verimli biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmektedir. Kuruluşlar için artık, yüksek büyüme oranlarına ulaşabilmenin yanı sıra, sürdürülebilir kalkınma da büyük önem taşımaktadır. Toplumsal ve çevresel riskleri doğru değerlendiren, inovatif ve sürdürülebilir iş modelleri ile fırsat yaratabilen ve yatırım kararlarında sürdürülebilirliği esas alan şirketler önümüzde ki yıllarda daha da önem kazanacak olan “yeşil rekabet” de üstünlük sağlayabileceklerdir. Enerjide sürdürülebilirlik ve işletmelerde uygun olan enerji verimliliği çalışmalarıyla bu sürdürülebilirlik politikalarının yürütülebilmesi önem arz etmektedir.

Bilindiği gibi ülkemizde enerji kullanımı sanayi, binalar (ticari ve konut) ve ulaştırma olmak üzere üç ana grupta gerçekleştirilmektedir. Bunlardan sanayi sektörü, ülkemizdeki nihai enerji tüketimi içindeki yaklaşık %36 ve elektrik tüketimindeki %55 düzeyindeki payı ile önemli bir yere sahiptir.(Eldem, 2008) Sanayi sektörü, gerek yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip olması, gerekse de sanayide tüketilen enerjinin çoğunlukla ticari enerji olması sebebiyle enerji tasarrufu çalışmalarında öncelikle ele alınması gereken bir sektördür. Bu çalışmada da yoğun enerji tüketen endüstri kollarından biri olan seramik sektöründe, bir vitrikiye fırınında enerji verimliliğini arttırmak için fırın atık sıcak havasından yararlanarak, sıcak su eldesi için bir ekonomizer tasarlanmış ve uygulaması yapılarak sonuçları ve faydaları değerlendirilmiştir.

1.1. Dünyada Genel Enerji Durumu

Enerji, çağdaş toplumların yaşamlarını sürdürebilmeleri için vazgeçilmez unsurlar arasında yer almaktadır. Dünya enerji tüketimi; nüfus artışı ve sanayileşmede yaşanan gelişmelerle orantılı olarak hızla artmaktadır. 2005 yılında 462 katrilyon Btu olan dünya enerji tüketiminin %50’lik bir artışla 2030 yılında 695 katrilyon Btu’ya ulaşacağı öngörülmektedir (International Energy Outlook, 2008).

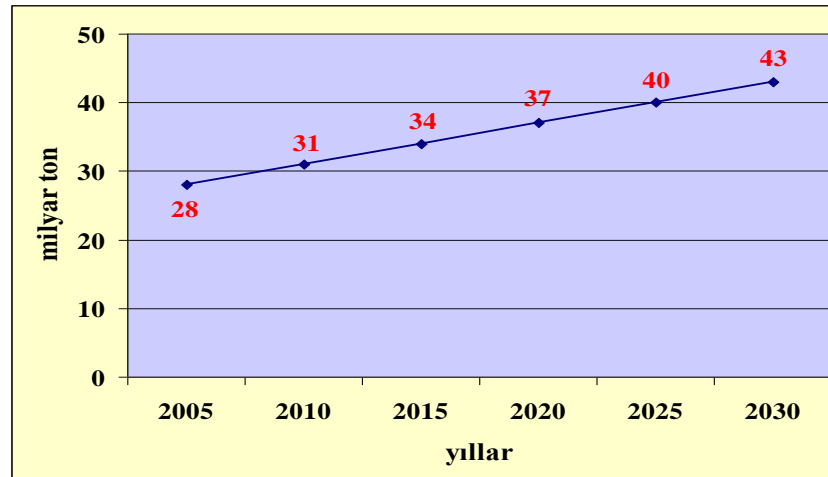


Şekil 1.1. Dünya enerji tüketim miktarları 2005-2030 (International Energy Outlook)

Dünyada tüketilen enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlar kullanılarak sağlanmaktadır. 2005 yılı dünya enerji tüketimine yönelik kullanılan kaynaklar arasında petrolün payı % 38 ile önde gelmektedir. Petrolü % 26'lık pay ile kömür, % 23'lük pay ile doğal gaz izlemektedir (International Energy Outlook, 2008). 2030 yılına yönelik yapılan tahminlerde enerji tüketiminin büyük bölümünün fosil yakıtlar tarafından sağlanmaya devam edeceği öngörülmektedir.

Fosil yakıt tüketiminde içinde en büyük paya sahip petrol kullanımında arz talep dengesinde yaşanan iniş çıkışlar fiyat istikrarsızlıklarına yol açmakla beraber 2030 yılına yönelik olarak yapılan tahminler fiyatların 100 \$/varil düzeyini aşacağı doğrultusundadır. Artan enerji ihtiyacı ekonomik sorunlara ek olarak fosil yakıt kullanımından kaynaklanan çevresel sorunları da arttırmaktadır.

Fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ ve diğer gazlar çevre kirliliğinin yanı sıra oluşturdukları sera etkisi sonucu küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. 2005 yılında 28 milyar ton olarak gerçekleşen dünya enerji kaynaklı CO₂ emisyonunun 2030 yılında 43 milyar tona ulaşacağı öngörülmektedir (International Energy Outlook, 2008). CO₂ emisyonundaki artıştan kaynaklanan küresel ısınma ve iklim değişikliği insanlık için yaşamsal öneme sahip su kaynakları, tarım ve doğa açısından tehdit oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Dünya enerji kaynaklı karbondioksit emisyonu (2005-2030), (EİE, 2006)

1.2. Türkiye’de Genel Enerji Durumu

Ülkemizde 2006 yılı birincil enerji arzı 99,8 milyon TEP, toplam nihai enerji tüketimi ise 77,6 milyon TEP düzeyinde gerçekleşmiştir. Enerji tüketimimizde petrol %32’lik pay ile en önemli enerji kaynağı durumundadır. Diğer enerji kaynakları; doğal gaz %29 ve kömür %28 pay ile petrolden sonra gelmektedir (EİE, 2006). Ülkemiz enerji ihtiyacının %73,2’sini dış kaynaklardan karşılamakta, oluşan fiyat artışları ekonomide olumsuz koşulları beraberinde getirmektedir.

Enerji temininde fosil yakıt kullanılmasından kaynaklanan ekonomik sıkıntıların yanı sıra oluşan çevre sorunları ülkemiz için de söz konusudur. Türkiye’de 1990 yılında 170,06 milyon ton olan toplam CO₂ emisyonu % 96 artışla 2006 yılında 331,76 milyon tona yükselmiş durumdadır. 2006 yılı emisyonlarında en büyük pay % 78 ile enerji kaynaklı emisyonlara aittir (Sera Gazı Emisyonu Envanteri, 2006).

Geleceğe yönelik projeksiyonlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi için artan çabalara rağmen fosil yakıtlara olan bağımlılığın süreceğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kısa zamanda yaygın kullanıma ulaşması beklenmediğine göre fosil yakıtların enerji üretimindeki ağırlığının ekonomi ve çevre açısından oluşturduğu sorunların azaltılması için enerjinin verimli kullanılması önem kazanmaktadır.

Enerji alanındaki her gelişme kaçınılmaz bir biçimde Türkiye’nin durumunu değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise ülkemizin enerjide %70’ler düzeyinde seyreden dışarıya olan bağımlılığıdır. Dolayısıyla dışarıda baş gösteren her sıkıntılı durum, kendi kaynaklarımızın ne durumda olduğu, onların

yeterince doğru değerlendirilip değerlendirilmediği ve zor günlere ne kadar hazırlıklı olduğu konularında sorgulamaları getirir.

Ülke nüfusunun artışına ve ekonominin büyümesine paralel olarak enerjiye olan talep de artmaktadır. Ekonomik büyümenin ve nüfus artışının genellikle daha yüksek olduğu gelişmekte olan ülkelerde, gelişmiş ülkelere göre enerjiye olan talepteki artış oranı çok daha yüksektir. Enerji talebindeki bu artış, Türkiye için ortalama olarak yaklaşık % 5,5–6 dolayındadır. Ancak son yıllar söz konusu olduğunda bu artışın birçok keresinde %8’i geçtiği görülmüştür. Toplam enerji ihtiyacının yaklaşık %73’ünü ithalatla karşılamak durumunda olan Türkiye’nin 2008 yılı genel enerji üretimi toplamı yaklaşık 106,4 mtep (milyon ton petrol eşdeğeri) olarak gerçekleşmiştir. Bu rakamların açıkça gösterdiği şey, Türkiye’nin enerji ithal eden ve enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı olan bir ülke olduğu gerçeğidir (Yazar, 2010).

1.2.1. Birincil Enerji Kaynaklarımız ve Tüketimimiz

Türkiye birincil enerji kaynakları çeşitliliği açısından oldukça zengin olup taşkömürü, linyit, asfaltit, ham petrol, doğal gaz, bitümlü şist gibi fosil kaynaklara ve hidrolik, jeotermal, biyokütle, güneş, rüzgar gibi yenilenebilir kaynaklara sahiptir. Kömür ve yenilenebilir birincil kaynaklarımızın rezerv ve potansiyelleri, girmeyi hedeflediğimiz Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla iyi düzeyde olmasına rağmen toplam enerji tüketimimizin %60’ını oluşturan petrolde ve doğal gazda “görünür” rezervlerimiz yok denecek düzeydedir.(Şener,2005). Çizelge1.1.’de Dünya fosil yakıt rezervi, Çizelge1.2.’de Türkiye birincil enerji kaynakları rezervi, Çizelge1.3’te Dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı talep senaryoları içinde kaynakların miktarı ve payı verilmiştir.

Çizelge1.1 Dünya fosil yakıt rezervi(Türkyılmaz, 2007)

BÖLGE	PETROL (Milyar Ton)	Doğal Gaz (Trilyon m ³)	Kömür (Milyar Ton)	
			Taş Kömürü	Linyint
Kuzey Amerika	8,3	7,6	120,2	137,6
Orta ve Güney Amerika	13,7	7,2	7,8	14
Avrupa	2,6	7,9	47,5	77,9
Eski SSCB Ülkeleri	9,1	56,1	97,4	132,6
Ortadoğu	93,3	56,9	1,7	
Afrika	10	11,2	55,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,9	12,3	189,3	103
Toplam Dünya	142,9	159,2	519,1	465,3

Çizelge 1.2. Türkiye birincil enerji kaynakları rezervi 2010 yılı (Mavi Kitap,2011)

KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Taş Kömürü (Milyon Ton)	534,60	431,50	368,40	1.334,50
Linyit (Miyon Ton)				
Elbistan	4.917,90			4.917,90
Diğer	4.920,00	1.345,00	262,00	6.527,00
Toplam	9.837,90	1.345,00	262,00	11.444,90
Asfaltit (Milyon Ton)	40,70	29,50	7,30	77,50
Bitümler (Milyon Ton)	1.641,40			1.641,40
Hidrolik				
GWh/yıl	129.388,00			129.388,00
MWh/yıl	36.603,00			36.603,00
Ham Petrol (Milyon Ton)	44,30			44,30
Doğalgaz (Milyar m ³)	6,20			6,20
Nükleer Kaynaklar				
Tabii Uranyum	9.129,00			9.129,00
Toryum	380.000,00			380.000,00
Jeotermal (Mw/yıl)				
Elektrik	98,00			98,00
Termal	3.348,00			3.348,00
Güneş (Milyon Tep)				
Elektrik				
Isı				32,60
Rüzgar				
Elektrik				48.000,00
Isı				
Biyokütle (Milyon Tep)				
Elektrik				2,60
Isı				6,00

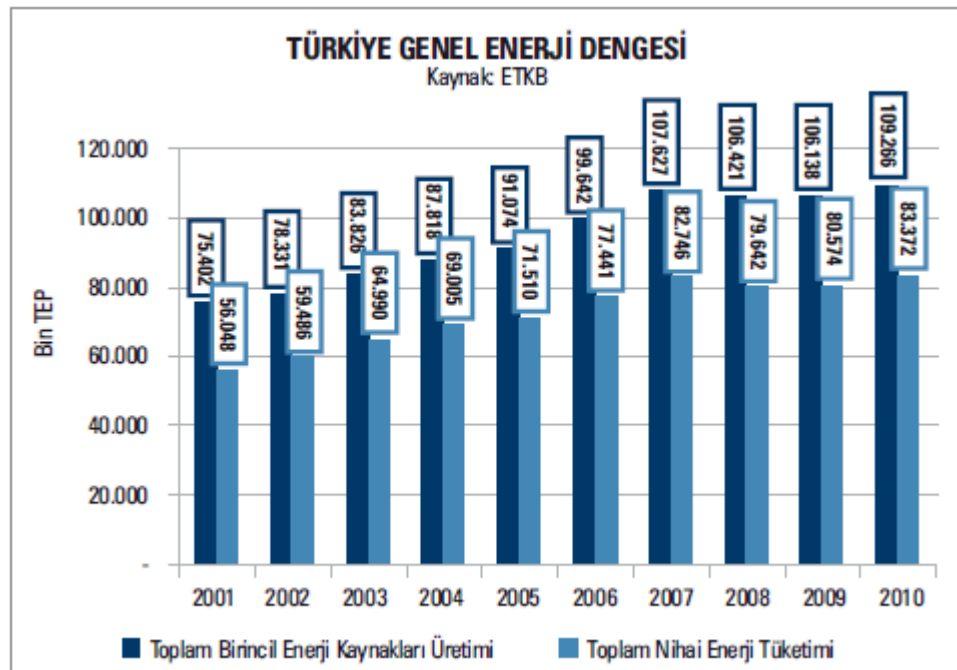
Çizelge1.3. Dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı talep senaryoları içinde kaynakların miktarı ve payı (Enerji Raporu, 2012)

YILLAR		1990	2010	2035 (Mevcut Politikalar)	2035 (Yeni) Politikalar)
Kömür	mtep	2231	3474	5523	4218
	%	25	27	30	25
Petrol	mtep	3230	4113	5053	4656
	%	37	32	27	27
Doğalgaz	mtep	1668	2740	4380	4106
	%	19	22	23	27
Nükleer	mtep	526	719	1019	1138
	%	6	6	5	7
Hidrolik	mtep	184	295	460	488
	%	2	2	2	3
Odun,çöp vb.	mtep	903	1277	1741	1881
	%	10	10	9	11
Jeotermal, Güneş, Rüzgar	mtep	36	112	501	710
	%	0	1	3	4
Toplam Birincil Enerji	mtep	8779	12730	18676	17197
	%	100	100	100	100

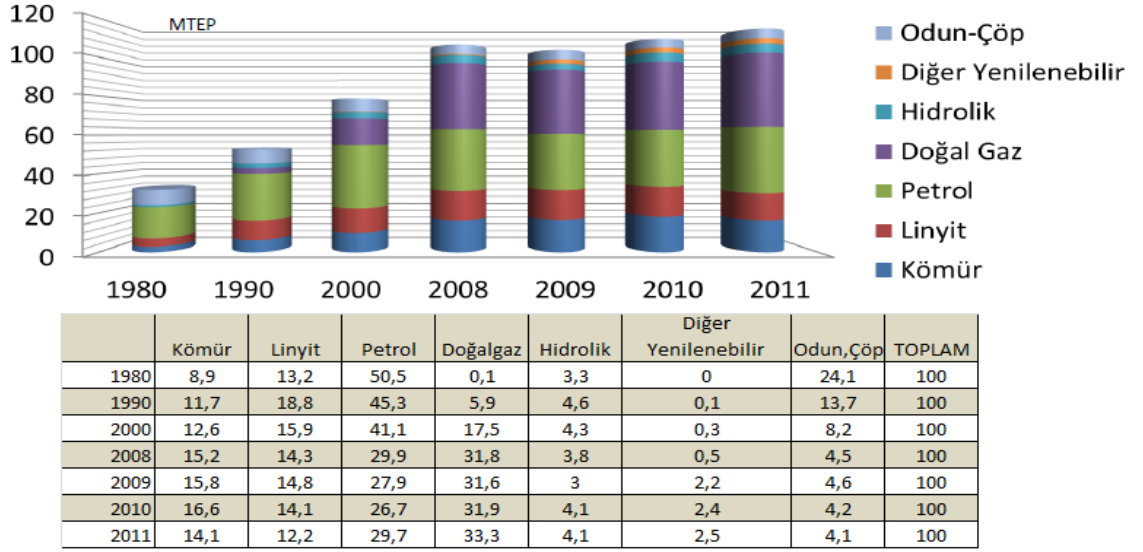
Genel enerji tüketiminde kaynakların payı incelendiğinde Türkiye ve AB ülkelerindeki petrol ve doğal gaz tüketim oranlarının aynı olduğu, Türkiye'nin kömür ve yenilenebilir kaynakların payındaki fazlalığın AB'de nükleer enerji ile ikame edildiği görülmektedir (Çizelge 1.4.). Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin 2001-2010 dönemindeki yıllık ortalama artışı %4,4 iken üretim artışı %6,6'dır (Şekil 1.3.). Aynı dönemde Türkiye birincil enerji tüketiminin gelişimine baktığımızda 2000 sonrası doğalgaz tüketimi hızla artmaktadır. İhraç edilen doğalgazın artışı ülke cari açılına da sebep olmaktadır. (Şekil 1.4.). AB ülkelerinin 1990-2003 dönemindeki genel enerji tüketiminde ortalama yıllık artışı %0,8 olmuştur. 2004 yılında genel enerji tüketimimizin % 87'si fosil yakıtlardan, %13'ü yenilenebilir kaynaklardan sağlanmıştır.

Çizelge 1.4. Türkiye ve AB'de genel enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı (%) - 2003 (Enerji Raporu, 2012)

	Petrol	D. Gaz	Kömür	Nükleer	Yenilenebilir	(Hidr.)	(Bio.)
Türkiye	38	22	27	0	13	4,5	6,3
AB	37	24	18	15	6	1,5	4,0
Dünya	34,4	21,2	24,4	6,5	13,3	2,2	10,6

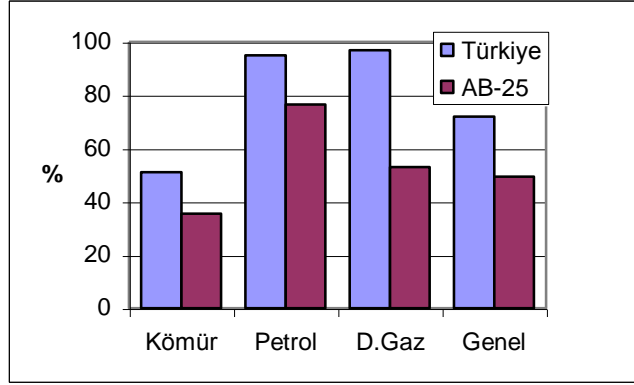


Şekil 1.3. 2001-2010 Türkiye genel enerji dengesi.(Enerji Raporu,2012)

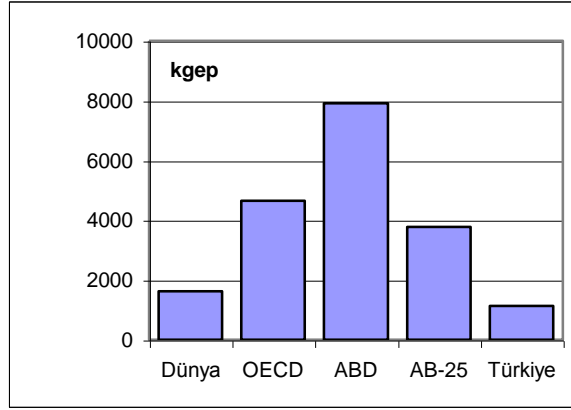


Şekil 1.4. Türkiye birincil enerji tüketiminin gelişimi(TMMOB 2012).

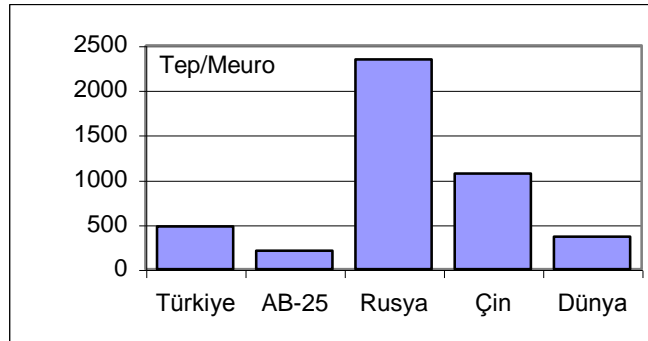
Birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlılık AB ülkelerinde %49,5 iken Türkiye’de %72,6’dır (Şekil 1.5.). Ülkemizin ekonomik koşulları ve kıt ekonomik kaynakları dikkate alındığında bu dış bağımlılığın makul bir düzeye çekilmesi için yerli kaynaklara yönelik hedefler konulmalıdır. Gelişmişliğin bir ölçütü olan kişi başı toplam enerji tüketiminde henüz dünya ortalamasının altında olup AB ortalamasını yakalamamız, %1,6’lık bir nüfus artış oranı ile orta vadede bile mümkün görülmemektedir (Şekil 1.6). 2003 yılında kişi başı tüketim Türkiye’de 1127 kgep iken AB’de 3773, ABD’de 7900, Çin ve Brezilya’da 1100, dünya ortalaması 1650 kgep olmuştur. Enerji yoğunluğu (birim GSMH’ya düşen enerji tüketimi) incelendiğinde AB ülkelerine kıyasla enerjiyi verimsiz tükettiğimiz, AB’nin artık terk etmeye başladığı çimento, demir-çelik imalatı gibi enerji yoğun ve/veya katma değeri düşük sanayilere sahip olduğumuz sonucu çıkarılabilir (Şekil 1.7). Genel ve nihai enerji tüketiminde en büyük kullanıcı %32,7 ile sanayi olup konut ve ticari faaliyetlerin payı %23,9’dur. Genel enerji tüketiminde tasarrufa ve verimliliğe yönelik çalışmalarda tüketimin sektörel dağılımı önemli bir referanstır. Örneğin, tüketimde payı % 15,7 olan ulaştırma sektöründe toplu taşımaya yönelmenin, tüm ulaşım araçlarında özgül yakıt tüketimi için sertifika şartı konulması gibi atılacak bazı küçük adımların sonucunda bu önlemlerin kümülatif getirisi azımsanamayacak mertebelerde olabilir. Yine, Toplam enerjinin % 23.9’unu tüketen konutlarda tüketilen enerjinin % 80’inin ısıtma amaçlı olduğu dikkate alınırsa binaların ısı izolasyonuna yönelik uygulanması zorunlu kriterlerin konulması halinde sağlanacak tasarruf az değildir.



Şekil 1.5. Enerjide dışa bağımlılık (2003).



Şekil 1.6. Kişi başı toplam enerji tüketimi (2003).



Şekil 1.7. Enerji yoğunluğu (2004).

1.3. Sanayi Sektöründe Enerji Kullanımı ve Verimlilik

Ülkemiz nihai enerji tüketimi içinde yaklaşık % 34, elektrik tüketiminde %54 tüketim payına sahip olan sanayi sektörü hem yüksek enerji tasarrufu potansiyeli hem de tükettiği enerjinin tümüne yakınının ticari enerji olması nedeniyle enerji tasarrufu çalışmalarında öncelikli sektördür. Bu nedenle sanayi sektörünün yapısının enerji tasarrufu açısından genel olarak irdelenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde halen, günümüz koşullarında ekonomik olma özelliğini kaybetmiş parametrelere dayalı daha çok kamuya ait olmak üzere, sanayi tesisleri mevcuttur. Bu tesisler, maliyet kriterlerine göre fazla enerji tüketen ve teknolojik gelişmelere ayak uyduramamış tesisler olarak kalmışlardır. Bundan başka bir çok endüstriyel proses, enerjinin başka şekle dönüştürülerek kullanılmasını gerektirmekte ve bu nedenle genellikle önemli miktarlarda dönüşüm kayıpları olmaktadır. Tabii ki bazı kayıplar kaçınılmazdır. Ancak yer yer sanayi sektörümüzde bu kayıpların büyük miktarlara ulaştığı gözlemlenmiştir.

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ve enerji fiyatlarındaki artış kayıp enerjiyi geri kazanmak için yapılacak yatırımları karlı hale getirmiştir. Önlemler alınmadığı takdirde bu kayıplar sürüp gidecektir.

Enerji tasarrufu çalışmaları ile sadece enerji tüketimi azalmakla kalmamakta bakım, onarım, işletme alışkanlıkları gibi fonksiyonların düzenlenmesi, üretimde, işletme verimlerinde artışlar sağlanmaktadır.

Enerji tasarrufu imkânlarının çok yönlü karlılığına rağmen yine de enerji tüketicileri tarafından önlemler derhal alınamamaktadır. Maliyetlerin fiyatlara hemen yansıdığı piyasa ekonomilerinde dahi, endüstri ve diğer sektörlerde, enerji tasarrufu yatırımları oldukça yavaş uygulanmaktadır. Bu yavaşlık az gelişmiş ülkelerde daha da fazladır ve bu durumun başlıca nedenleri şöyle özetlenebilir;

- Fiyat değişmelerine olan tepkinin yavaş olması, mevcut işletmelerin verimli çalıştığı kanısının hâkim olması,
- Enerji tasarrufu yatırımlarının kompleks oluşu, önerilen yeni ekipmanlara tam güvenilememesi ve gerekli revizyonlar nedeniyle üretimin aksamasının istenmemesi,
- Bu yatırımların, çok sayıda küçük yatırımlardan oluşması,

- Son yıllarda, ekonomik şartların ağırlaşması nedeniyle yeni yatırımlara yeterli kaynak ayrılamaması,
- Üretim artışına verimin iyileştirilmesinden daha büyük önem verilmesi ve üst yönetimin enerji tasarrufuna yeterince ilgi göstermemesi.

Bu nedenlere ilaveten ve tamamlayıcı olarak, sanayide enerji tasarrufu çalışmaları teknik ve mali engellerle karşılaşmaktadır. Bazen teknik, mali ve ekonomik engeller birbiri üzerine gelebilir. Tesis bazında, uygun teknik imkânların bilinmemesi, enerji yönetimi konusunda uzman kadroların bulunmayışı, ölçü ve kontrol aletlerinin eksikliği gibi faktörler enerji tasarrufu çalışmalarını geciktirmektedir. Mali engeller ise; sermaye kıtlığı, yüksek faiz oranları ve enerji tasarrufu ekipmanları için orta vadeli basit finansman imkanlarının bulunmayışıdır. Bu engeller gelişmekte olan ülkelerde sanayileşmiş ülkelere nazaran daha ciddi boyutlardadır. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkeler uzun vadede enerji tüketiminde ekonomi sağlayacak bir yaklaşım için, gelecekteki sanayileşme stratejisini belirlemelidir.

1.4. Türkiye Seramik Sektöründe Enerji Kullanımı

1.4.1. Sektör tüketiminin genel tüketim ile mukayesesi

Seramik sektörü, proses içindeki yoğun kurutma ve pişirme işlemlerinden dolayı, oldukça yoğun enerji tüketen bir sektördür. Bir başka deyişle, Seramik üreticilerinin maliyetleri içinde enerjinin payı diğer sektörlerle oranla oldukça yüksektir.(Pekin,2002). Sektörümüzde halen Doğal Gaz, LNG ve LPG olmak üzere iki ana yakıt tüketilmektedir. Bu yakıtların dağılımı şöyledir:

1.4.2. Seramik kaplama malzemeleri

	Kurulu Kapasite:	230.100.000 m ² /yıl
Sektörün Kullandığı Toplam Yakıt İçinde	Doğalgaz Tüketimi	% 98
	LPG Tüketimi	% 2
	Ortalama Yakıt Tüketimi	22.196 kcal/m ²
	Toplam Yakıt Tüketimi	620 milyon m ³ /yıl Doğalgaz (Bu değer toplam sanayi tüketiminin %14'üdür.) 2,000 ton/yıl LPG

1.4.3. Seramik sağlık gereçleri

Sektörün Kullandığı Toplam Yakıt İçinde	}	Doğalgaz Tüketimi	% 98
		LPG Tüketimi	% 2
		Ortalama Yakıt Tüketimi	5764 kcal/kg
		Toplam Yakıt Tüketimi	226 milyon m ³ /yıl Doğalgaz (Bu değer toplam sanayi tüketiminin %4,3'üdür.) 500 ton/yıl LPG

Sonuç olarak, kaplama malzemeleri ve vitrifiye üretimi olarak Seramik Sektörü bugün Türkiye genelinde Sanayide tüketilen Doğal Gazın % 17'sini tüketmektedir.

1.4.4. Sektör enerji tüketiminin parasal değerı

Türkiye seramik sektöründe yılda 846 milyon metreküp doğalgaz ve 2500 ton LPG tüketilmektedir. Sektörün elektrik tüketimi ise 950 milyon kw'a yaklaşmıştır.

Sonuç olarak seramik sektörü yılda 428 milyon \$'ı enerji için ödemektedir.

2. TÜRKİYE SERAMİK SEKTÖRÜ

Seramik endüstrimiz kaplama malzemeleri, refrakter ve teknik seramik sanayii'nin öncü firması olan Çanakkale Seramik A.Ş.'nin kuruluşu ile sağlık gereçleri sanayii ise Eczacıbaşı A.Ş. ile başlamıştır. Bugün dünya seramik pazarında kalitesi ve üretim kapasitesiyle önemli bir konuma gelmiş olan seramik endüstrisi, her ne kadar makine ve teknolojiye dayalı olsa da 2005 yılı itibarıyla yaklaşık olarak 200.000 kişiye istihdam sağlamakta ve 1 milyar U.S. Doların üzerinde ihracat yapmaktadır.

2.1. Seramik Endüstrisinin Sektörel Dağılımı

Sektör sıralaması sektördeki büyüklüğe göre yapılabilir;

- Seramik kaplama malzemeleri (fayans ve yer karoları)

Sanayii

- Porselen ve seramik sofa ve süs eşyaları sanayii,

- Seramik sağlık gereçleri (vitrifiye seramik) sanayii.

- Refrakter sanayii.

- Teknik seramik sanayii.

2.2. Seramik Kaplama Malzemeleri

SKM (Seramik Kaplama Malzemeleri) yer ve duvar kaplamasında kullanılan, seramikten yapılmış kaplama malzemeleridir. Türkiye'de çoğunlukla seramik yer karolarına "seramik karo" duvar karolarına "fayans" denilmektedir (DPT, 2001).

SKM sektörü ülkemize istihdam ve döviz girdisi sağlayan, ülke ekonomisinde etkin ve önemli yeri olan bir sanayi dalıdır. Büyük oranda yerli girdiler kullanılan sektör, yıllık 1 milyar US Dolarlık üretim değeri, 400 milyon US dolarlık ihracatı ile, ülkemizin rekabet gücü en yüksek sektörlerinden biridir. Ülkemiz SKM üretimi ve ihracatı bakımından başta Avrupa olmak üzere dünya genelinde önemli bir konuma sahiptir. Özellikle 1990'lı yıllardan itibaren hızla gelişen ve büyüyen Türk seramik sektörü, bugün 100'den fazla ülkeye ihracat yapmaktadır. Ülkemiz SKM üretiminde Avrupa'da üçüncü, dünyada ise yedinci ülkedir. İhracatta ise ülkemiz Avrupa'da İtalya ve İspanya'dan sonra üçüncü, dünyada ise beşinci ülke konumundadır (DPT, 2006).

SKM sektöründe faaliyet gösteren kuruluşların üretim yerleri, yabancı sermaye payları, işçi sayıları ve kapasiteleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelge de yer alan firmaları kapasitelerine göre üç ayrı grupta incelemek mümkündür. Buna göre bir

sınıflandırma yapıldığında; 15 milyon m²'den daha fazla kapasiteye sahip firmalar A grubu, 7,5 ile 15 milyon m² arasında kapasiteye sahip olanlar B grubu ve 7,5 milyon m²'den daha düşük kapasiteye sahip olan firmalar ise C grubu olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 2.1. Türkiye seramik kaplama sektöründe üretim yapan kuruluşlar.(DPT,2006)

No	Kuruluş adı	Yeri	Yabancı sermaye payı (%)	Kapasite (10 ⁶ m ²)		İşçi sayısı
				2004	2005	
1	Kale Seramik	Çanakkale	0	62	62	2300
2	Toprak Seramik	Eskişehir OSB	0	28	28	1415
3	Ege Seramik	İzmir	0	22,5	24,5	1230
4	Graniser	Akhisar OSB	0	14,5	23	1200
5	Eczacıbaşı	Bozüyük	1,5	16,8	21	1200
6	Yurtbay Seramik	Eskişehir	0	13,3	14,6	635
7	Kütahya Seramik	Kütahya	0	14,5	14,5	550
8	Tamsa Seramik	İzmir	0	14,5	14,5	480
9	Söğüt Seramik	Söğüt	0	14	14	510
10	Termal Seramik	Söğüt	0	7,8	13	475
11	Hitit Seramik	Uşak OSB	0	9	12	410
12	Seramiksan	Turgutlu OSB	0	11,5	11,5	390
13	Umpaş Seramik	Uşak OSB	0	8	10,5	290
14	Ercan Seramik	Bilecik	0	8,5	9,4	425
15	Yüksel Seramik	Aydın	0	3,5	6,5	320
16	Efes Seramik	Eskişehir	0	4	4	275
17	Akgün Seramik	Bilecik	0	4	4	210
18	Anatolia Seramik	Söğüt	0	3,5	3,6	245
19	Uşak Seramik	Uşak	0	3,4	3,6	205
20	Seranit	Bilecik	0	2	2	110
21	Bozüyük Seramik	Bozüyük	0	1,8	1,8	120
22	Altın Çini	Kütahya	0	1,5	1,7	85
23	Pera Seramik	Çanakkale	0	1,5	1,5	110
24	Granist	Eskişehir	0	1,5	1,5	165

2.3. Porselen, Sofra ve Süs Eşyaları Sanayii

Porselen, kil ihtiva eden hammaddelerden üretilmiş ürünlerin oluşturduğu seramik grubunun bir elemanıdır. Porselen, % 50 oranında (kaolin), %25 oranında kuartz ve % 25 oranında da feldspattan üretilir. Hammaddelerin uygun işlenmesi, öğütülmesi, karıştırılması ve tekrarlanan pişirimlerde bütünleştirilmesiyle porselen ortaya çıkmaktadır. Porselen mamulü sofa ve süs eşyaları pazarına ilişkindir.

Ürün pazarı; porselen sofa eşyası üreten üreticilerin ürün yelpazesine bakıldığında; yemek takımları, çay takımları, tabaklar, fincanlar, kaseler, vazolar, kül

tabakları, demlikler, sütlükler, şekerlikler, tuzluk ve biberlikler, peçetelikler, biblolar gibi ürünlerden oluşmaktadır (Atılğan, 2006).

2.4. Refrakter Sanayii

Refrakter Malzeme Tanımı: Kelime olarak “inatçı” manasına gelen refrakterin teknolojik tanımı “yüksek sıcaklıklara ve bu sıcaklıklarda gaz, sıvı ve katı maddelerin fiziksel ve kimyasal etkilerine karşı koyabilen malzeme” olarak yapılabilir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere evlerimizdeki kömür sobalarından çeşitli ağır sanayi fırınlarına kadar tüm ısı işlem fırınlarında refrakter malzeme kullanılmaktadır. Refrakter malzemeler esas alınan pek çok kritere göre sınıflandırılabilir. Geleneksel olarak; yüksek sıcaklıkta çalışan fırın ve benzeri ünitelerin yapımında veya içinin kaplanmasında kullanılan, sıcaklık altında fiziksel ve kimyasal nitelikte çeşitli aşındırıcı etkilere karşı ergimeden ve fiziksel-kimyasal özelliklerini koruyarak dayanabilen malzemelere refrakter malzemeler denilmektedir. Ancak yukarıda tanımlanan özelliklere sahip metal ve alaşımlar Refrakter malzeme tanımının dışında kalmaktadırlar. Refrakter malzemelerde bünye; saç kaplı tuğlalarda olduğu gibi metalik bir bileşene sahip olabilir, ama tamamen metal ve alaşım olamaz. Bu yüzden bu malzemeler ISO tarafından şöyle tanımlanmaktadır: “Refrakter Malzemeler, bünyelerinin tamamı metal veya alaşım olmayan fakat metalik bir bileşime sahip olabilen ve refrakterliği 1500 °C olan malzeme ve mamullerdir.”

DIN 51060 standardına göre, refrakter malzemeler üç grupta toplanabilir:

- Ateşe dayanıklı 1500 °C
- Refrakter min. 500 °C
- Yüksek refrakter min. 1800 °C

Malzeme sınıflanmasında refrakter malzemeler; seramik, cam, çimento gibi metalik olmayan anorganik malzeme sınıfına girer. Seramik teknolojisinin bir kolu olan refrakter sanayiinde, demir-çelik, demir dışı metaller sanayii, çimento sanayii, seramik ve kimya sanayii gibi temel sanayi kollarının önemli bir yan girdisi olan refrakter malzemeler üretilmektedir. Fırın tipi, üretim teknolojisi ve üretim cinsine göre fırınlarda uygulanan prosesler değişmekte ve her değişen proses, değişik tür ve özelliklerde refrakter kullanmayı gerektirmektedir. Bu nedenle çok değişik refrakterler üretilmektedir.

Refrakter malzemelerin genel özellikleri şöyledir:

- Elektriği iyi iletmezler,
- Yük altında kırılığandır,
- Erime noktaları yüksektir,
- Havada stabildir. Oksidasyona maruz kalmazlar,
- Mikro ve makro yapıda heterojendir.

Yurdumuzda eskiden beri bilinen ateşe dayanıklı malzemelerin modern anlamda üretimi 1949 yılında ateş tuğlası imalatıyla başlamıştır. Ülkemizde alümino-silikat hammaddeleri için (şamot, boksit, vb.) zenginleştirme tesisleri bulunmamaktadır. Hammadde olarak kullanılabilir kalitede olanların ise miktarı çok sınırlıdır. Yurtiçi hammadde kaynaklarına bağlı olarak kurulan yeni tesislerle gelişen kapasiteden faydalanma imkanı yetersiz kalmıştır. 1980’li yıllara kadar alümino-silikat refrakter sanayii büyük bir aşama kaydedememiştir. Bu sektör için en önemli gelişme, kaliteli hammaddenin teminiyle kaliteli refrakter tuğla ve harçların üretiminin mümkün olduğunu göstermesidir. Filyos Ateş Tuğlası Sanayii’nde şiferton için ön yakma ve magnetik ayırma ile zenginleştirme ünitesi kurulmuştur. Özellikle en büyük refrakter tüketiminin gerçekleştiği demir-çelik sanayiinde teknolojik gelişimler sonucu alümina-silikat tüketimi azalmıştır. Bu azalmanın nedenleri önceki bölümlerde detaylı şekilde açıklandığı üzere; kalitenin yükselmesi, birim tüketimin düşmesi, alümina-silikat refrakter kullanım yerlerinin gelişen proseslerde bazik refrakterlere bırakması, şekilsiz Refrakter kullanımı yaygınlaşarak tuğla tüketiminin azalması olarak özetlenebilir (DPT,2001).

Ülkemizde alümino-silikat ürünlerde mevcut atıl kapasite nedeniyle, yeni tesislere ek kapasiteye ihtiyaç bulunmamaktadır. Mevcut kapasitenin değerlendirilebilmesi için;

- Sanayinin istediği yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesi
- İthal edilen özel refrakter malzemelerin üretilmesi, yeni ürün araştırmalarına ağırlık verilmesi
- Monolitik üretiminde, klasik ürünler yerine geliştirilmiş, döküm harcı, püskürtme, vibrasyon gibi değişik bağlayıcılarla hazırlanan harçların yapılması
- Üretim giderlerinde maliyet düşürücü çalışmalara özen gösterilmesi

- Prefabrik refrakter elemanların üretilmesi
- Ambalajın ürünü tüketim noktasına kadar koruyacak sağlamlıkta özenle yapılması, standartlaşmaya gidilmesi
- İhracata ağırlık verilmesi gereklidir.

Yapılacak yatırımlar, yukarıdaki üretimleri gerçekleştirebilecek modernizasyon ve rehabilitasyon yatırımları ile ülkemiz hammaddelerini istenen kaliteye ulaştırabilecek zenginleştirme yatırımları olmalıdır.

2.5. Vitrifiye Seramik Sektörü

Genel anlamda Seramik Sağlık Gereçleri şu şekilde tanımlanabilir: İnorganik-metalik olmayan hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılarak akışkan bir çamur haline getirilmesi, daha sonra da alçı ve/veya sentetik reçine kalıplarda şekillendirilerek 1200-1250°C civarında pişirilip su emme değeri %0.75'in altında olan ürünlerdir. Kil, kaolen, kuars, feldspat gibi inorganik hammaddeler temel yapıyı oluşturur.

Lavabo, ayak, klozet, rezervuar, bide, helataşı, pisuar ve duş teknesi beyaz ve renkli olmak üzere ürün yelpazesinin başlıca ürünleridir (DPT, 2001).

2.6. Teknik Seramik Sektörü

Ülkemiz teknik seramik sektörü 1960'lı yıllarda ekonominin ihtiyacı doğrultusunda bina içi ve dışı alçak gerilim elektrik malzemelerinin pres porselen gövde imalatı ile üretime başlamış ve daha sonraları dağıtım şebekelerinde kullanılan alçak ve orta gerilim izolatör imalatı ile gelişmiş ve 1980'li yıllarda yüksek gerilim izolatörlerini de üreterek porselen izolatör alanında son asamaya gelmiştir. 1970'li yıllarda elektrik üretim ve dağıtımının büyük ivme kazanmasıyla şehir, kaza ve köy yerleşim bölgelerinde izolatör ihtiyacı en üst seviyeye çıkmıştır. Talebin yoğun olduğu bu dönemlerde gerek tevsii gerekse yeni yatırımlarda kurulu kapasitede genişlemeler olmuştur. Ancak 1980'li yılların sonunda Türkiye'nin izolatör ihtiyacı özellikle dağıtım şebekelerinde azalmış ve bu alanda kapasite fazlası oluşmuştur. 1990'lı yıllardan itibaren ise mevcut kapasite ihracata kaydırılmaya çalışılmıştır.

Özetle; porselen izolatör sektörü, varlığını muhafaza etmeye, yetişmiş elemanını kaybetmemeye, yurt ekonomisindeki stratejik önemini bilerek bekleyişini sürdürmekte ve geliştirme çalışmalarına devam etmektedir (TKB, 2005).

2.7. Mevcut Durum

Ülkemizde Seramik Sağlık Gereçleri 1960 yılında Eczacıbaşı Seramik Tesislerinde 3000 ton/yıl kapasiteyle üretime başlamıştır. Aynı yıllarda kurulma çalışmalarına başlanan Yarımca Porselen Sanayii (Sümerbank ve Emlak Bankası tarafından kurulan Porselen ve Çini Fabrikaları Ltd. Şirketi) 1960 ihtilali sebebiyle gecikmeli olarak 1967 yılında üretime geçen kamu kuruluşu olmuştur. İthal ikamesi politikası ile ithali yasaklanan malzemenin, artan ülke ihtiyacına paralel olarak kapasitesi genişletilmiş, birçok yeni tesis kurulmuş ve bugünkü duruma ulaşmıştır.

Bugün gelinen noktada üretim kapasitesi 130.000–140.000 ton/yıl seviyelerine ulaşmıştır. Bu durum ülkemizi gerek AB ülkeleri, gerekse dünya ölçeğinde ürün kalitesi ve kapasite olarak ilk sıralara taşımıştır. Seramik sağlık gereçleri sektörü, kaplama malzemelerinden sonra seramik sektörünün en hızlı gelişen ikinci alt sektörüdür. Bugün sektör, üretiminin yaklaşık %50'sini başta AB ülkelerine olmak üzere ihraç etmektedir.

Eczacıbaşı ve Yarımca'dan sonra bu sektörde üretime başlayan önemli üreticiler sırası ile şunlardır: 1978 Serel Seramik San. ve Tic. A.Ş, 1979 Çanakçılar Seramik San. A.Ş, 1981 Toprak Seramik San. ve Tic. A.Ş, 1993 Kalevit Seramik San. A.Ş ve 1994 Egevit Vitrikiye Seramik San. ve Tic. A.Ş, Kütahya Seramik San. A.Ş Bunların yanı sıra 30'un üzerinde küçük ölçekli üretici de sektörde üretim yapmaktadır. Sektörde yabancı sermaye, Kalevit-Roca Seniter San. A.Ş firmasında bulunmaktadır. 1999 yılı içinde, Avrupa'nın ve dünyanın önde gelen üreticilerinden Roca, Kalevit firması ile %50-%50 ortak Kale-Roca adında yeni bir şirket kurmuştur. 2007 yılı itibari ile Roca-Kalevit ortaklığı bitirilerek Kale-Roca firması %100 yerli olarak Kalevit markası ile üretimine devam etmektedir. 2005 yılı itibari ile Türkiye'de Seramik Sağlık Gereçleri sektörü kurulu kapasite 18.000.000 Adet/yıl'a ulaşmıştır. Türkiye'de faaliyet gösteren firmaların kurulu kapasiteleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Seramik sağlık gereçleri sektöründeki kuruluşlar.(TKB,2005)

Firma Adı	2004 Kapasite (Adet/yıl)
Eczacıbaşı- Vitra	4.000.000
Serel	2.100.000
Çenesizler	1.400.000
Ege	1.000.000
İdeser-İdeal	1.000.000
Toprak	930.000
Çanakçılar	850.000
Kalevit	800.000
Heriş-Kütahya	700.000
Kılınç	600.000
Esvit	600.000
Turkuaz	460.000
Doğvit	325.000
Turavit	300.000
Çelebiler	250.000
Erbe	250.000
Özvit	250.000
Duravit	240.000
TOPLAM	16.055.000
Diğer (Küçük Üreticiler)	1.915.000
TOPLAM	17.970.000

Dünya ve Avrupa ölçeklerinde kapasite açısından ön sıralarda gelen Vitra ve Serel gibi firmalar yanında, orta ve çok sayıda küçük ölçekli üretici de vardır. Sektördeki belli başlı 18 üreticinin kapasite toplamı yıllık 16 milyon adet civarındadır. Ayrıca pazar durumuna göre sayıları değişen, çok sayıda küçük üretici de bu sektörde faaliyet göstermektedir. Bu küçük üreticilerin kapasite, üretim ve pazar payları hakkında sağlıklı bilgi temin edilememektedir. Bu üreticilerin toplam yıllık kapasitelerinin 2 milyon adet civarında olduğu tahmin edilmektedir. Küçük üreticilerle birlikte, ülkemizdeki toplam üretim kapasitesinin 18 milyon adet ve 270.000 ton civarında olduğu söylenebilir.

3. VİTRİFİYE ÜRETİM SÜREÇLERİ

3.1. Tanım

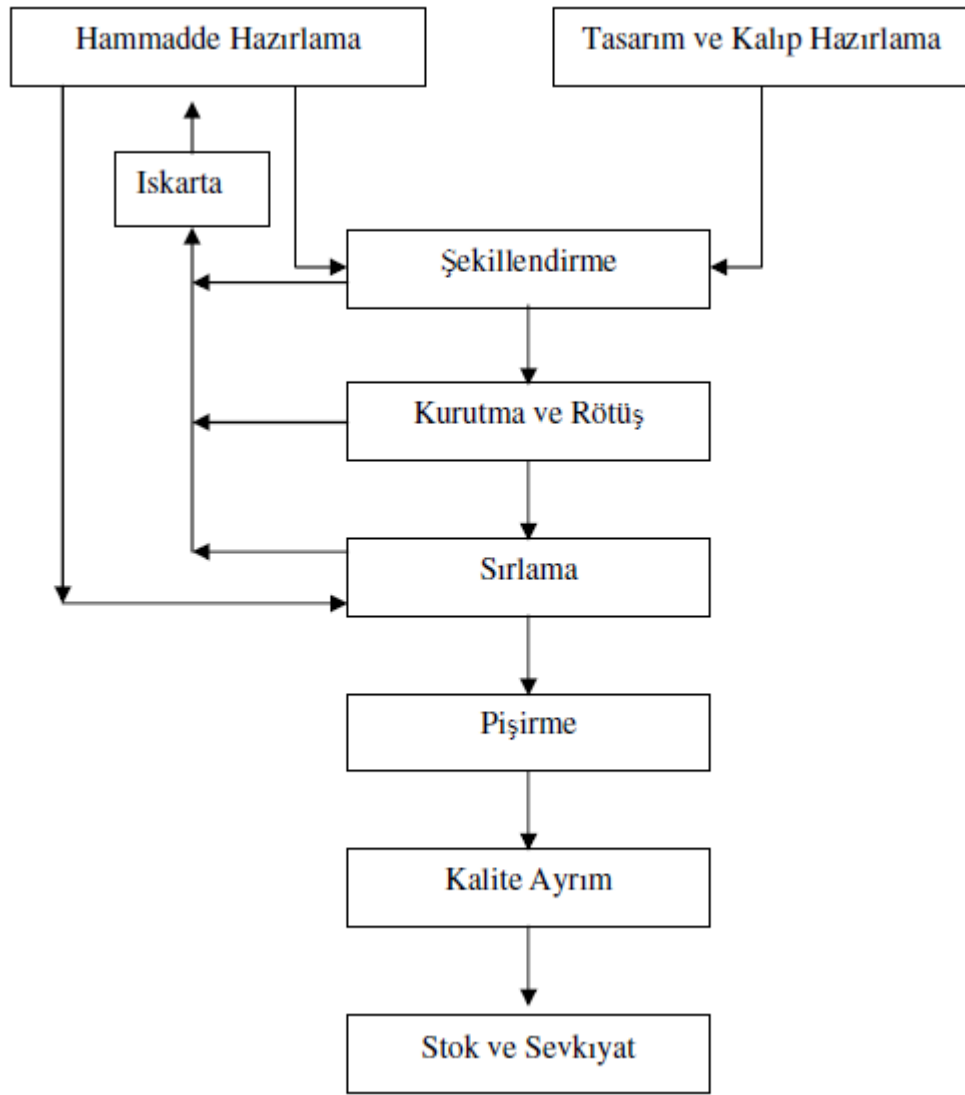
Vitrifiye seramikler; inorganik-metal olmayan hammaddeleri belirli oranlarda karıştırılarak akışkan bir çamur haline getirilmesi, daha sonrada alçı ve/veya sentetik reçine kalıplarda şekillendirilerek 1200–1250 °C civarında pişirilip su emme değerinin % 0,75 ‘in altında olan ve aşağıdaki özellikleri sağlayan ürünlerdir.

Üretimde;

- Fonksiyonel olması,
- Standartlara uygun olması,
- Ergonomik olması,
- Çeşitli konut tiplerine uygun olması,
- Estetik olması gibi tasarım kriterleri göz önünde bulundurulur.
- Ürünlerin teknik özellikleri;
- Yüzeyin parlak ve gözeneksiz olması,
- Bakteri ve mikrop barındırmaması,
- Kir tutmaması ve kolay temizlenmesi,
- Su emmemesi nedeniyle koku yapmaması,
- Asit ve deterjandan etkilenmemesi,
- Aşınmaması,
- Uzun ömürlü olması,
- Ateşe dayanıklı olmasıdır.

3.2. Üretim Prosesi

Vitrifiye seramik üretiminde değişik teknolojiler kullanılmasına karşın üretim prosesi aynıdır. Şekillendirmede alçı kalıplar yaygın olarak kullanılmakla beraber yüksek basınçlı tezgâhlarla da yüksek verimde ürün şekillendirmesi yapılmaktadır. Sırlamada sır tabancaları ile yaygın olarak yapılan sırlama işlemi robotlar vasıtası ile otomatik olarak yapılabilmektedir. Aynı şekilde birçok fırın çeşidi bulunmakla birlikte en çok tercih edilen fırınlar tünel fırınlar olup, dekor ve tamir pişirimi için jet brülörlü kamara tip fırınlar kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de seramik üretim prosesi şematik olarak verilmiştir.

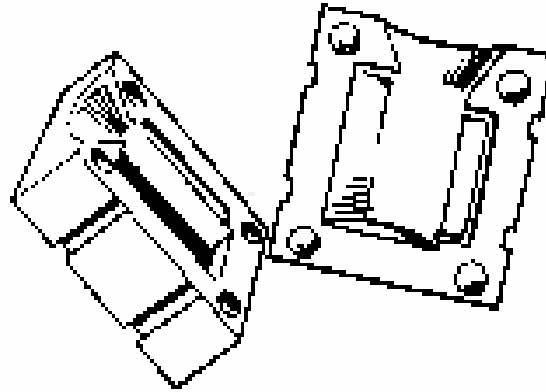


Şekil 3.1. Vitrikiye üretim süreçleri (Atılğan, 2006)

3.3. Tasarım ve Kalıp Hazırlama

Üretimde devreye alınması planlanan ürünlerin form, fonksiyon ve estetik olarak müşteri isteklerine uygun kriterlerde hazırlanması, üretim projesinde kullanılacak olan model kalıpların yapımı ve üretimde uygun hale getirilmesi ve yeni model araştırmalarının planlanması ve dizaynının yapıldığı bölümdür. Bu bölümün görevi temelde farklı modeller üretmektir. Modelin %11 büyütülmüş halinin teknik resmi çizilir. Teknik resme göre model yapılır. Bu işlemlerden sonra kalıba alma işlemine geçilir. Modelin çeşidine ve uygun döküm sistemine göre kalıp yapılır. Deneme dökümleri yapılır. Kurutma, sırlama ve pişirmeden sonra kalite denetimine gönderilir. Ürün üzerinde birtakım testler uygulanır. Olumlu sonuç verirse model kalıbın teksir

kalıbı üretilir. Teksir kalıp; model kalıp üzerinden, iş kalıbı üretmek amacı ile çeşitli kimyasal maddelerin karışımından oluşan, darbelere, basınca ve çarpmalara dayanıklı maddelerden yapılan kalıba denir. Teksir kalıp iş kalıbı üretmek için alçı kalıp bölümüne alınır. İş kalıbı ile model kalıbı tamamıyla aynıdır. İş kalıbı; döküm yolu ile yarı mamul üretmek için kullanılan kalıptır. İş kalıbı alçıdan yapılır. Alçı gözenekli bir yapıya sahip olduğu için su emme özelliği vardır. Kalıplarda alçı kullanılmasının ana sebebi de budur. Kalıbın içerisine çamur döküldüğünde, çamurun içerisindeki suyu emer. Üretilen iş kalıplarında 1 birim suya 1,35 birim alçı kullanılır. Model ve kalıplarda bu oran 1 birim suya 1,40 birim alçıdır. Alçının donma süresi 30–35 dakika arasındadır. Karışım esnasındaki sıcaklık 22–27 °C arasındadır. Alçı karıştırma süresi dakikada 300 devir ile 4 dakikadır. Kalıp et kalınlığı 6 cm'dir. Kalıp ömrü 60–120 döküm arasında değişmektedir. Kalıp açılarak Makaran telinin hava giriş deliğinden 70 dakika içinde 0,5 bardan 5 bara kademeli olarak basınç uygulanır. Kalıptaki suyun bir bölümü bu şekilde uzaklaştırılır. Kalan su kurutma fırınlarında yaklaşık olarak dört gün kurutulmaya bırakılır. Kurutma işleminin tamamlanıp tamamlanmadığını % nem çıkışı belirler. Bu değer yaklaşık % 26 olduğu zaman kurutma işlemi bitirilir. Kurutmada sonra kalıplar döküme hazır duruma gelir. Şekil 3.2'de iş kalıbının şematik çizimi verilmiştir.



Şekil 3.2. İş kalıbı (Sümer, 1992)

3.4. Hammadde, Çamur ve Sır Hazırlama

Seramik sağlık gereçleri üretiminde ürünlerin dökülebilmesi için öncelikli olarak hammaddelerin yarı mamullere dönüştüğü kısımlar aşağıdaki şekilde sırayla incelenebilir. Bu bölümler; Çamur Hazırlama ve Sır Hazırlama bölümleridir.

3.4.1. Çamur hazırlama

Hammaddeler istenilen boyutlarda değil ise kırma işlemi yapılır. İstenilen boyutlara getirilen hammaddelere yıkama işlemi uygulanır. Yıkama işlemi kirli hammaddenin pişme sırasında ürünün rengini etkilememesi için yapılır. Bu işlemlerden sonra hammaddeler açık stoklara oradan da silolara alınır. Tartı bantlarında tartılan hammaddeler taşıma bantları ile taşınarak değirmene doldurulur. Değirmene 1/3 bilye, 1/3 su 1/3 de kuru hammadde ilave edilir. Bilye boyutlarının da 1/3 oranında büyük orta ve küçük bilye olması öğütmenin daha iyi olmasını sağlar. Öğütme işlemi ortalama 16–18 saat sürer. Değirmenlerin devirleri 10 ile 50 d/d arasında değişmektedir. Değirmenden sulu çamur hava basıncından yararlanılarak pompalar vasıtasıyla açıcılara aktarılır. Akışkanlığı sağlamak, fırın çıkışındaki toplanma hatasını engellemek, çatlakları önlemek, tiksotropiyi arttırmak, çökmenin olmaması için silikat, baryum karbonat ve soda ilavesi yapılır. Akışkanlığı arttırmak için su kullanılmamasının sebebi; fazla sulu bir döküm çamuru kalıpları ıslatır, kalıptan çıkma süresini uzatır ve çamurun kalıp içinde çatlamasına neden olur. Çamurun litre ağırlığı 1790 gr civarındadır. Çamur açıcılardan alınarak tampon elekten geçirilir. Burada çamurun tane boyutuna bakılır. Çamurda tane iriliğinin büyük olması su emmenin fazla olması demektir. Çamur tampon elekten sonra 160 mikron ve 180 mikron büyüklüğündeki iki elekten daha elenir ve stoka alınır. Bir süre dinlendirilen çamur pompa ile manyetik tutucuya gönderilir. Bu sayede çamur içerisindeki demir ve demir bileşikleri uzaklaştırılmış olur. Dökümhaneden geri dönen çamur elekten geçirilerek açıcılara boşaltılır. Ayrıca dökümhaneden ıskartaya ayrılan yarı mamuller bu bölümde su ilavesi yapılarak mikserde açılır ve yeni üretilen çamurla karıştırılarak litre ağırlığı ve viskozite kontrolleri yapılır ve bir süre dinlendirilir. Pompa ile tekrar 160 mikron ve 180 mikronluk eleklerden geçirilir. Burada geri dönüş ve artık çamurdaki yabancı maddelerden temizlenmiş olur. Mıknatıs tutuculardan geçen çamur ana stokta 1 gün bekletilir. Dinlendirme esnasında çamur karıştırılmaya devam eder. Bu işlemden sonra çamur dökümhaneye gönderilir. Başarılı bir döküm çamurunun hazırlanabilmesi için;

Çamuru oluşturacak hammaddelerin kimyasal, fiziksel, mineralojik ve jeolojik özelliklerini bilmek gereklidir. Yani kimyasal olarak bileşimi, fiziksel olarak tane yapısı ve tane büyüklüğü, mineralojik olarak içerdiği mineraller ve kristal yapısı, reolojik olarak da akışkan olabilme yeteneği ve bunu sağlayan etkenler bilinmelidir,

- Döküm çamurunda olması istenen mineralojik yapının, çamuru oluşturacak olan tüm hammaddelerin kimyasal bileşiminden hesaplanması,
- Çamura katılacak olan suyun oranı, fiziksel ve kimyasal yapısı,
- Uygun elektrolitin seçimi ve kullanılacak miktarının belirlenmesi,
- Döküm çamurunu oluşturan sert ve suda dağılmayan maddelerin öğütülme süresi ve tüm çamurun tane iriliği dağılımı,
- Döküm çamurunun litre ağırlığı ve viskozitesi bilinmelidir.

3.4.2. Sır hazırlama

Öğütülmüş uygun bileşimli seramik hammaddelerden elde edilen ve seramik bünye üzerinde pişirme neticesinde cam yapıya benzer bir yapı oluşturabilen karışımlara “sır” denir.

Sırlanarak kullanılan seramik ürünlerinde sırrın çeşitli görevlerinden bazıları şunlardır;

- Bünye üzerinde kaygan ve parlak bir yüzey oluşturmak,
- Üzerine uygulandığı bünyeyi sıvılardan ve gazlarda koruyup yalıtmak,
- Bünyeye etki eden çeşitli mekanik etkilere karşı bünyenin gücünü arttırmak,
- Renkli pişen bünyelerin üzerinde örtücü bir tabaka oluşturmak,
- Sır altına uygulanan dekorasyonları koruyarak, dış etkilere yalıtılmak.

Sır hazırlamada kullanılan hammaddeler; sodyum feldspat, potasyum feldspat, kaolin, zirkon, çinko oksit, kalsit, kuvars, dolomittir.

3.5. Şekillendirme

Poroz bir kalıba döküm çamuru dökerek şekillendirme yöntemi 150 yıl öncesine gitmektedir. O zamanda sodyum tozunun dağıtıcı fonksiyonu bilinmiyordu, böylece %40-60 su ihtiva eden döküm çamurları kullanılıyordu ve kurutma prosesi ise büyük çatlamalara ve çatlama riskine haizdi. Proses her halükârda insan gücü yönünde daha iyi ve daha hızlıydı. On dokuzuncu asrın ortasında düşük su yüzdeli döküm çamurlarının yapımında sodyum karbonat kullanılması bilinmekteydi ve şimdi de döküm çamurunda dağıtma, toplama ve kolloid koruma mekanizmasını anlamaktayız. Gerek geleneksel kil bünyelerin ve gerekse kilsiz yeni bünyelerin kullanılarak üretiminde döküm metodu çok kullanılmaktadır. Esas olarak dökümle şekillendirme prosesi bünyeye bazı kimyasal maddelerin ilavesi olup asgari su seviyesi ile proses alçı kalıbına kadar uzamaktadır. Bu arada döküm parçası kurumakta ve kalıptan ayrılmaktadır. Sonra mamul çıkarılır,

rötuşlanır ve gerekirse diğer işlemler yapılır. Dökümle şekillendirme prosesi seramikten, kemik porselenden ve normal porselenden iri taneli Refrakter malzemelere kadar her çeşit mamul üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca uygun miktarda bağlayıcı madde ilavesi ile geleneksel olmayan ve kili olmayan bünyelerde de kullanılmaktadır. Örneğin saf oksit bünyeleri zirkonya, alümina, magnezit, titan, silisyum karbür ve titanatlar gibi (Sumer, 1992).

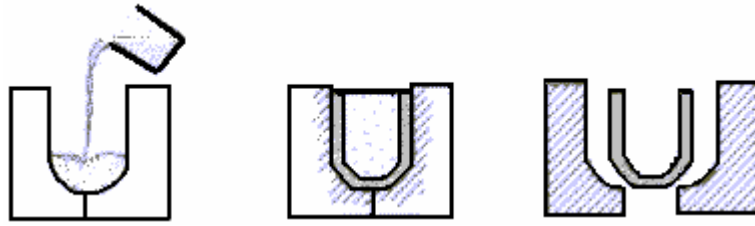
Bu safhada istenilen akışkanlığa sahip çamur kalıpların içine doldurulur. Alçının su emme özelliği nedeniyle çamurun kalıpla temas ettiği cidarda kalıbın formunda sert bir çamur tabakası oluşur. Bu tabaka belli bir kalınlığa ulaştıktan sonra kalıp içinde kalan akışkan çamur geri boşaltılır, sonra kalıplar açılır ve yaş yarı ürün çıkartılarak kurutulması sağlanır. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te döküm ile şekillendirme metodu şematik olarak verilmiştir.

Şekillendirmede kullanılan döküm çamurunda aranılan özellikler:

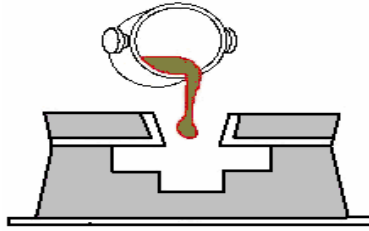
- Yaş malın mukavemeti iyi olmalıdır.
- Döküm hızı kontrol edilebilir özellikte olmalıdır.
- Kuruma küçülmesi az olmalıdır.
- Mümkün olduğu kadar az su ihtiva etmelidir.
- Akıcı olmalı ve kalıbın en ince boşluklarını doldurmalıdır.
- Çamur içindeki tanecikler kalıpta çökme yapmamalıdır.
- Dökülen mamul kalıptan kolayca ayrılabilmelidir.
- Çamurda hava kabarcığı olmamalıdır.

Şekillendirmede kullanılan kalıplarda olması gereken özellikler:

- Döküm yapılmadan önce kalıplar kuru olmalıdır.
- Mümkün olduğu kadar kalıp parça sayısı az olmalıdır.
- Deformasyona dayanıklı ve uzun ömürlü olmalıdır.
- Hızlı et kalınlığı almalı ve et kalınlığı her yerde eşit olmalıdır.
- Alçı içerisinde yabancı madde, hava kabarcığı ve topaklanma olmamalıdır.



Şekil 3.3. Döküm ile şekillendirme (Sümer,1992)



Şekil 3.4. Döküm ile şekillendirme (Sümer, 1992)

Şekil3.5 'te bir seramik sağlık gereçleri fabrikasında dökümhaneden alınmış bir fotoğraf görülmektedir. Döküm tezgahından alınmış yarı mamul ürünler ön rötuş için tezgah önünde beklerken, işlemi biten ürünler taşınabilir raflarda kurutma prosesi için bekliyorlar.



Şekil 3.5. Döküm kısmından bir görüntü.

3.6. Kurutma

Seramikte pişirme işleminden önce yapılacak olan en önemli işlem kurutmadır. Kurutmayı yalnızca teknolojik açıdan değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da incelemek gerekir. Büyük sorunlar çıkmasına olanak vermeyecek şekilde, suyun çabuk, ucuza mal edilerek, en iyi şekilde yarı mamülden uzaklaşması sağlanmalıdır. Seramikte “kurutma” kavramını açıklamak için şu tanımlama yapılabilir: Kurutma fiziksel bir süreçtir ve rutubetli bir malzemedeki suyunun uzaklaştırılıp kurutulması işlemidir. Kurutmanın yapılabilmesi için, malın içindeki suyun buhar şeklinde uzaklaştırılması gerekir. Bu buharlaşmanın miktarı;

- Kurutma havasının sıcaklığına,
- Kurutma havasının hızına,
- Kurutma süresine,
- Malın kuruma yüzeyinin büyüklüğüne bağlıdır.

Kurutma dıştan içe gerçekleşir. Kuruyan bir malda buharlaşma yüzeyde olur. Bu şekilde bir kuruma, konveksiyon (geçişme) kuruma olarak tanımlanır. Burada hava kurutma için gerekli sıcaklığı ve kurutmadan oluşan su buharını taşıyıcı görev alır. Kurutma havasının, kuruma sırasında oluşan su buharını kabul edebilmesi için sıcak olması gerekir. Eğer böyle olmazsa, oluşan su buharı hemen kondense (yoğunlaşma) olarak suya dönüşür. Aynı zamanda kurutma havasının sıcak olmaması sonucu, kurumayı gerçekleştirecek şekilde, malın içinden yüzeyine doğru bir su hareketi olmaz. Seramik çamurunun içindeki porlar (gözenekler) aracılığı ile su yüzeye ulaşır. Burada porlar kepler (kılcal yol) görevi yaparlar. Bir seramik çamurunun içinde yoğrulma suyu aşağıdaki durumlarda bulunur.

- Yüzey suyu; kil taneciklerinin yüzeylerini film şeklinde saran sudur.
- Por suyu; bu tanımlamadan, taneciklerin arasında bulunan su anlaşılır. Çamurdaki suyun büyük bir kısmını oluşturur.
- Emme suyu; kil taneciklerinin yüzeyinden içine emilme yolu ile giren sudur.

Böylelikle bu su, seramik çamurunun plâstikliğinde söz sahibi olur. Kurutma sırasında çamurdan en güç ayrılan sudur. Seramikte kurutma işlemi, bütün bu sayılan suların çamurdan uzaklaştırılması için yapılır. Kurutma havasının bu nedenle sıcak olması gerekmektedir. Sıcak hava, kuruyacak olan malı ısıtarak içindeki suyun buharlaşmasına aracı olur. Teorik olarak 1 kg suyu buharlaştırmak için gerekli olan ısı

enerjisi 539,1 kilokaloridir. Bir kurutma odasında 100 kg kurutulacak seramik mal varsa ve bu malın rutubetini %25'den %5'e indirilmek isteniyorsa, 10782 kcal'ye gerek vardır. Fakat kurutma sırasında ortaya çıkan ısı kayıpları hesaplandığında, gerekli ısı enerjisinin daha fazla olduğu görülür. Şekillendirme sırasında çamura verilen su, kuruma sırasında tersine bir yol izleyerek çamurdan uzaklaşır. İlk kuruma yüzeyde başlar, porlardan gelen su, yüzeyden buharlaşarak uzaklaşır. Bu sırada kurutma sıcaklığının artması sakıncalı olabilir. Bu sakınca yüzeyin çok önce kuruyup, içerden gelen suyun geçmesine engel olacak kadar küçülmesidir. Bu durumda oluşan gerilimler, kuruma çatlağına ve deformasyona yol açar (Acarsoy, 1983).

Çamurdaki gözeneklerden su uzaklaştıkça küçülme sürer. Küçülmenin nedeni, kil taneciklerinin birbirlerine yaklaşmalarındandır. Gözeneklerden suyun uzaklaşmasını, tanecik yüzey ve emme suyunun uzaklaşması izler.

Kurumaya etki eden faktörler şu şekilde özetlenebilir;

- Çamurun tane büyüklüğü ve bunun dağılımı,
- Çamurun bünyesindeki hammaddelerin mineral türleri,
- Bünyede eriyen tuzların olup olmadığı,
- Moleküllerin yapısal düzeni,
- Çevrenin rutubet koşulları,
- Ortamdaki hava sıcaklığı,
- Kurutmaya giren malların boyut, şekil, su oranlarında beraberlik.

Kurutma Hataları;

- Deformasyon ve eğilme,
- Çatlama,
- Renksiz hale getirme,
- Nem transferi sırasında ince tanelerin kuruyan yüzeye doğru ilerleyerek dışarı çıkmaları, kılcal çatlak,
- Farklı çekme boyutlarından dolayı oluşan farklı gerilimler,
- Tabaka oluşumu.

3.7. Rötüş

Kalıplardan çıkartılan yarı mamullerin ön rötüşü dökümhanede yapılır. Delinecek veya kesilecek yerleri varsa yarı mamul yaş iken yapılır. Rötüş işlemi zımpara, sünger, su, su zımparası, sistire gibi aletler kullanılır. Yüzey suyunu atması

beklenir ve rötüşlanır. Yarı mamul üzerindeki toz, çapak, form bozuklukları, pudra kalıntıları, kalıp izleri gibi hatalar giderilmediğinde kaliteyi direkt olarak etkileyeceğinden rötüş işlemleri büyük önem taşır.

Kabinlere alınan ürünler burada döner bir tablanın üzerine yerleştirilerek zımpara ile zımparalanırlar. Islak sünger ile silinerek pudra kalıntıları yüzeyden alınır. Yarı mamulün keskin köşe ve oturma yüzeylerine gaz yağı sürülerek çatlak olup olmadığına bakılır. Eğer var ise keçe ile zımparalanarak bu giderilmeye çalışılır. Sorun bu şekilde de giderilemezse ürün parçalanarak çamur için hammadde oluşturulmak üzere ıskartaya ayrılır. Zımparalanan ürün basınçlı hava ile tozlardan arındırılarak sırlamaya gönderilir.

3.8. Sırlama

Sırlama işçiler tarafından pistole yardımıyla püskürtülerek ya da otomatik kontrollü robotlarla yapılır. Kabinlere alınan ürünler döner tablalar üzerine yerleştirilerek bir yandan sırlanarak bir yandan da döndürülürler. Sırlama mamulünün yüzeyinin tamamını kaplaması gerekmektedir. İşlem yatay yönde hareketlerle yapılır. Fırına pişme esnasında plakalara yapışmaması için atık su borusu birleşim yerleri ve taban bölgeleri ıslak sünger ile silinerek sırdan temizlenir.

3.9. Pişirme

Seramikte pişirme şöyle tanımlanır; Şekillendirilmiş ve kurutulmuş yarı mamulün, bir program içinde ısıtılması ve oluşan seramiğin gene bir program içinde soğutulması işlemidir. Pişirme işlemi seramik fırınlarında yapılır. Çok çeşitli fırın türleri olmasına karşın, pişirmedeki ortak yönler her fırın için geçerlidir. Pişirmedeki ortak yönleri aşağıdaki evrelerden oluşturur;

- Fırının doldurulması
- Ön ısınma
- Sürekli ısınma
- Pişme ısınması
- Soğutma
- Boşaltma

Pişme sıcaklığı 1200–1250°C'dir. Alevi doğrudan mamul üzerine göndermeyip brülörden gelen ısıyla mamulün pişmesi sağlanmaktadır. Böylece direkt alevin veya yanma gazlarının mamul üzerinde olumsuz etkilerinin önüne geçilmektedir.

55–200°C Ön ısıtma ile fiziksel su uzaklaştırılır yani nem atılır.(~1 saat)

200–400°C Bileşimden gelen kimyasal su uzaklaştırılır.(~1 saat)

400–650°C _kuvars _kuarsa dönüşür, kaolinit metakaolenite dönüşür. (~2–2,5 saat)

650–1200°C Sinterleşme (~4–4,5 saat)

Faz dönüşümlerinden ileri gelen hacimsel genişlemenin bünyeye zarar vermemesi için 400 °C den 650 °C ye kadar olan ısıtma yavaş yapılmalıdır.

Soğutma işlemi kabaca 3 kademe yapılmaktadır:

- Ani Soğutma (1200–650°C arası) (~ 2,5-3 saat)
- Yavaş Soğutma (650–400°C arası) (~ 2-2,5 saat)
- Normal Soğutma (400–100°C arası) (~ 2 saat)

Pişme işlemi tamamlanan mamul 1200–650°C' ye kadar mümkün olan en hızlı şekilde soğutulabilmektedir. 650–400 °C arasında Kuvars kristali değişimi nedeniyle yavaş bir soğutma gereklidir (573°C). Normal soğutmada ise mamul fırından çıkabilecek sıcaklığa (150-100°C) düşürülmelidir.

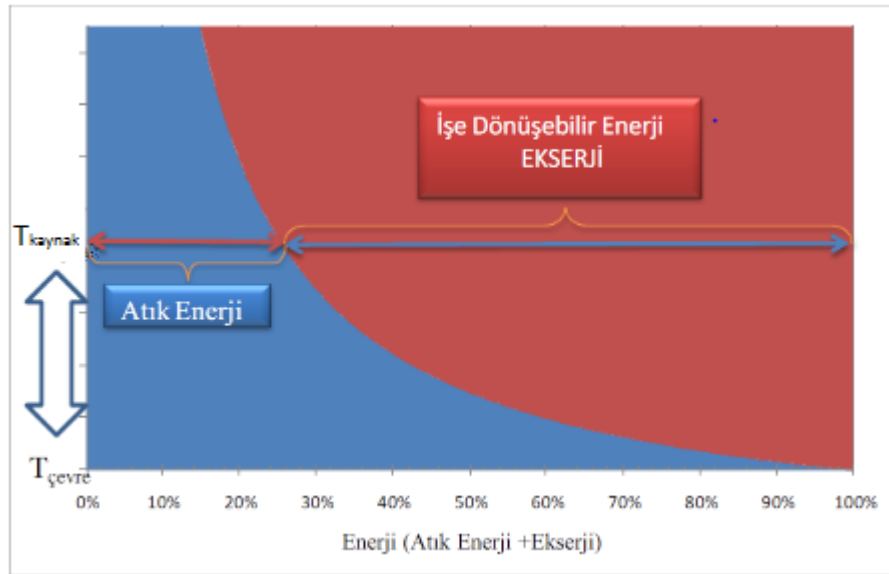
Pişme sırasında seramik, bazı geçici ve kalıcı değişiklikler gösterir. Geçici değişikliklerin yanında hacimsel büyüme gelir. Kalıcı değişiklikleri, dolayısıyla esas pismiş seramik çamurunu oluşturan nedenler çoktur. Bunların en önemlileri, kristal değişikliği, cam fazı oluşumu, yer değiştirme reaksiyonlarıdır. Bu olayların sonucunda seramik çamurunun pekişmesi gerçekleşir (Sümer, 1990).

4. ATIK ISI KAVRAMI VE YARARLANMA YÖNTEMLERİ

Herhangi bir enerji kaynağının kalitesi işe dönüştürülebilir potansiyeli ile ölçülür. Bu açıdan bakıldığında enerji türlerinin (mekanik, elektrik, iç enerji, ısı, vb.) hepsi aynı kalitede değildir. Verilen bir enerjinin işe dönüştürülen kısmına kullanılabilir enerji (ekserji) ve dönüştürülmesi imkânsız olan kısmına kullanılamaz enerji (aenerji) denilmektedir. Bu kaynaktaki enerji başka bir enerjiye dönüştürüldüğünde ya da bu enerjiden herhangi bir prosesi gerçekleştirmek için faydalandığında geriye kalan enerjinin (atılan enerji) şartlarından daha yukarıda ise hala iş potansiyeli vardır. Sonuç olarak atılan enerji, endüstride herhangi bir procesten sonra çevreye atılmasına rağmen kullanılabilir enerji potansiyeli (ekserjisi) olan enerjidir.

Atılan enerji şartları çevre şartlarına yaklaştıkça iş potansiyeli (ekserji) azalır ve kullanılamaz enerji (atık enerji/aenerji) artar. Atılan enerji şartları çevreye ulaştığında kullanılamaz enerji yani atık enerji haline gelir.

Yukardaki açıklama literatürde ve uygulamada çok defa karıştırılan -atılan enerji- kavramı ile -atık enerji- kavramı arasındaki farkı açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 4.1de görüldüğü gibi yüksek kaynak sıcaklıklarında işe dönüştürülebilir enerji oranı fazla iken, çevre sıcaklığına yaklaştıkça atık enerji kısmı hızla artmaktadır. Atılan enerji çoğunlukla sıvı ya da gaz fazındaki akışkanlar ile çevreye atılmaktadır (Erdem, 2010).



Şekil 4.1. Enerji kaynağının sıcaklığına bağlı olarak atılan enerjideki ekserji ve atık enerji oranlarının değişimi (Erdem, 2010).

Atılan enerjiden geri kazanımda aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır;

- Geri kazanım teknik ve ekonomik olarak mümkün olmalıdır.
- Enerjiye talep olmalıdır ya da uygun talepler oluşturulmalıdır.
- Atılan enerjinin sıcaklığı talebe uygun olmalıdır.
- Geri kazanılan enerji ile talep miktarı birbirine uygun olmalıdır.
- Arz ve talep zaman yönünden uyumlu olmalıdır. Uyum yoksa enerji depolama sistemleri ile uyum sağlanmalıdır.

Endüstride ve güç üretiminde çok farklı proseslerde enerji atılmaktadır. Bunların başlıcaları ergitme, pişirme, kurutma vb. Proseslerdeki fırınlar, ocaklar ve kazanlardaki baca gazları prosten elde edilen ürün ısıları, güç üretim santrallerindeki baca ve kondenserden atılan ısı, prosten artan sıvı ve gaz fazındaki atık akışkanların ısıları ve soğutma sistemlerindeki atık ısılarıdır. Çizelge 4.1’de bazı atılan enerji kaynakları ve sıcaklık aralıkları örnek olarak verilmiştir. Atılan enerji prosesin tipine bağlı olarak yüksek sıcaklıktaki duman gazlarından düşük sıcaklıklardaki soğutma suyuna kadar değişebilir. Yüksek sıcaklık yüksek kalite anlamına gelir ve genellikle geri dönüşümü ekonomik açıdan daha uygun olur. Yüksek sıcaklıktaki bir enerjiyi düşük sıcaklıkta talep olan bir yerde kullanmakta uygun olmayacaktır. Bu amaçla yüksek sıcaklıktaki atılan enerji kademeli olarak farklı taleplerin karşılanmasında kullanılarak elde edilen fayda artırılabilir.

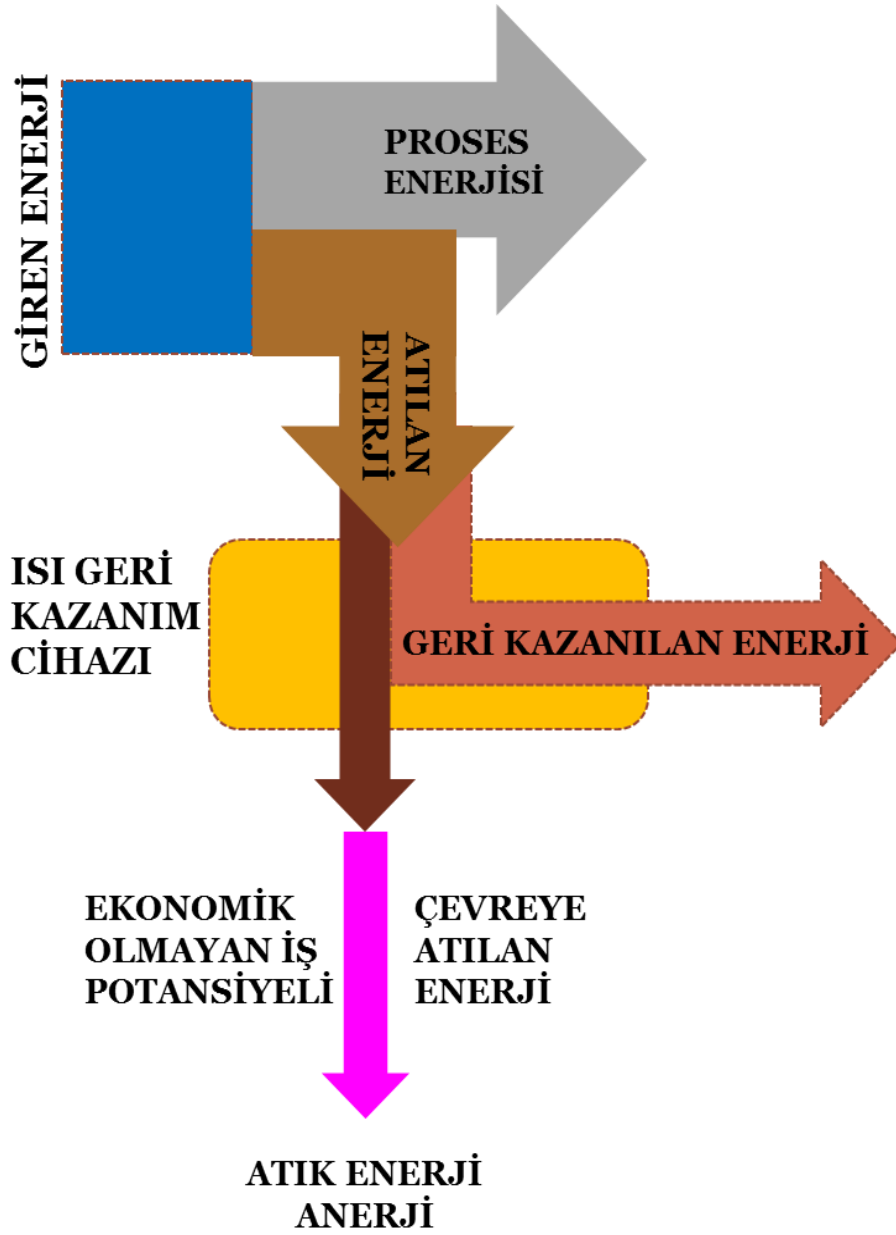
Çizelge 4.1. Çeşitli proses sonu atılan enerji kaynakları ve sıcaklık aralıkları.

Atılan Enerji Kaynağı	Sıcaklığı [C °]
Nikel Arıtma Fırını	1370-1650
Çelik Ergitme Fırını	925-1050
Çimento Fırını	620-730
Cam Eritme Fırını	1000-1550
Gaz Tirbün Eksozu	370-540
Motor Eksoz Gazı	315-600
Isıl İşlem Fırınları	425-650
Kurutma ve Pişirme Fırınları	90-230
Motor Soğutma Suyu	60-120
Proses Buhar Kondensi	50-90

Gerek endüstriyel tesislerde, gerekse konutlarda yakılan yakıta bağlı olarak, kullanımdan sonra bacaya atılan sıcak duman gazlarından geri ısı kazanımı yapılarak yakıt tasarrufu sağlanır. Bacaya atılan sıcak duman gazı sıcaklıkları kullanıldığı yere bağlı olarak yukarıda belirtilen sıcaklıklarda bacaya atılır. Yakılan yakıtın türüne bağlı olarak bu baca gazı sıcaklıkları sıvı yakıtlarda (yakıtın içindeki kükürt miktarına bağlı olarak) 100°C'ye, gaz yakıtlarda 30°C'ye kadar düşürülebilir. Buradan elde edilecek ısı ile kazan besi suyu, kalorifer tesisatı suyu, sıcak kullanma suyu, endüstride proses suyu, veya kazanlarda yakma havası ısıtılabilir ya da ısıtma, kurutma için sıcak hava üretilebilir. Unutulmamalıdır ki, bacaya atılacak sıcak duman gazlarından ısı alarak; yapılan her 20°C düşürülüş, yaklaşık %1 yakıt tasarrufu sağlar. Doğal gazda üst ısıl değer ile alt ısıl değer arasında %11 fark vardır. Bu değer sıvı yakıtta %6,4 mertebesindedir. Bilhassa doğal gaz gibi yakıtların yakılması neticesinde duman gazı içinde hacimsel olarak %17 oranında su buharı teşekkül eder. Doğal gazın bünyesinde kükürt olmadığından, duman gazı sıcaklığını 30°C gibi bir değere düşürdüğümüzde su buharı bünyesindeki gizli ısının bir kısmı da alınarak kazan verimi % 106 (alt ısıl değere göre) gibi bir değere ulaşmaktadır. Bu arada yoğuşan suyun PH değeri 3,5 civarında olduğundan, kazanın yoğuşma bölümünün, aside dayanıklı 316L kalitesinde paslanmaz çelikten yapılması gerekmektedir. Sıvı yakıtta yoğuşan suyun PH'ı 2,5'a kadar düşer. Ancak geri kazanılan yakıt tasarrufu ile yapılan yatırımın bedeli çok kısa zamanda amorti edilmektedir. Duman gazları içindeki su buharı; çığ noktası aşağıdaki şartlara bağlı olarak değişir. Çığ noktasını yakıtın cinsi, yakıttaki kükürt miktarı, duman gazındaki O₂ ve CO₂ miktarı belirler. Duman gazındaki CO₂ yüksek ise çığlenme (yoğuşma) noktası da yüksek olur. Doğal gazda % 11 CO₂ sıvı yakıtta % 14 CO₂ katı yakıtta % 14 CO₂ değerleri normaldir. Baca gazlarında da doğal gazda % 2-3 O₂, sıvı yakıtta %3-4 O₂, katı yakıtta %5-6 O₂ normal değerlerdir. Baca gazlarındaki enerjinin bir kısmı bir ısı değiştirici ile besleme suyunun ön ısıtılmasında kullanılarak geri kazanılabilir.

Atık ısıdan yararlanma sistemleri bundan sonraki bölümde açıklanmıştır. Endüstride fırınlarda, kazanlarda vb. enerji kullanımı olan tüm cihazlarda enerji geri kazanımı için çeşitli ısı değiştirici cihazlar kullanılmaktadır. Isı değiştiriciler ihtiyaç için geliştirilmiş ve çok çeşitli tipleri olan ısı geçiş ilkelerine göre dizayn edilmiş sisteme

sonradan da ilave edilebilen cihazlardır. Şekil 4.2’de tipik bir atık ısıdan geri kazanım sisteminin şeması görülmektedir.



Şekil 4.2. Proses sonu sistemden atılan enerjinin geri kazanımının şematik gösterimi.

5. ATIK ISIDAN YARARLANMA SİSTEMLERİ

Baca gazlarının çevreye atılması nedeniyle oluşan ısı kayıplar %10-35 arasında değişmektedir. Bir ısı üreticinde örneğin bir buhar kazanında dışarıya atılmakta olan baca gazlarının ısısından istifade ile besleme suyu veya yakma havası ısıtılmak suretiyle ısı geri kazanımı sağlanabilir. Böylece kazan verimi yükseltilecek enerji dolayısıyla yakıttan tasarruf sağlanabilir. Atık ısıdan ısı geri kazanımı için reküperatif ve rejeneratif ısı değiştiricileri kullanılmakla birlikte son yıllarda ısı borulu ısı geri kazanım sistemleri kullanılmaya başlamıştır (Ürün, 2011).

Isı borusu konusunda ilk çalışmalar 1942 yılında R. S. Gaugler tarafından yapılmıştır. Gaugler'in çalıştığı ısı boruları, şuan kullanılan ısı borularının temelini oluşturmuştur (Özsoy, 2005).

Çomaklı ve ark, merkezi ısıtma sistemi kazan bacalarındaki enerji ve ekserji kayıplarını analiz etmişlerdir. Analiz sonucuna göre, baca gazı enerji ve ekserji kayıplarının büyüklüğüne etki eden en önemli faktörün baca gazı sıcaklığı olduğu görülmüştür (Çomaklı, 2006).

Atık ısıdan yararlanma sistemleri genel olarak iki ana grupta incelenebilir. Bunlar atık ısıdan direkt ve dolaylı yararlanma sistemleridir.

5.1. Sanayide Isı Geri Kazanımın Önemi

Ülkemizde enerji ihtiyacı, nüfus artışına ve sanayideki gelişmelere paralel olarak her geçen gün artmakta ve enerji kaynakları bu ihtiyacı karşılayamamaktadır. Enerji talebinin çoğunu ithalatla karşılayan ülkemizde bu durumun kalkınma ve sanayileşmede bir engel oluşturmaması için enerjinin verimli kullanılması önemli hale gelmiştir. Enerji verimliliği; enerji girdisinin üretimdeki payının azaltılması, aynı üretimin daha az enerji tüketerek gerçekleştirilmesidir. Başka bir deyişle enerji verimliliği; binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işlemlerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılmasıdır (Özgür, 2008).

Günümüzde, enerji kaynaklarının kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Özellikle Türkiye gibi hızla gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır. Geleneksel yakıtların kullanım şekilleri kendi içlerinde farklılıklar gösterdiği gibi gerek çevreye olan olumsuz etkileri gerekse rezervlerinin azalması sonucunda alternatif enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalmıştır (Angın, 2007).

Enerjinin daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasına bugün için alternatif bir enerji kaynağı olarak yaklaşılmaktadır. Özellikle enerji tüketimi yüksek olan tesislerde, enerjinin verimli kullanılması enerji maliyetini düşürebileceği gibi, kayıp enerjiyi geri kazanmak için yapılan sistemlerin maliyetlerini de en aza indirmiş olacaktır. Ayrıca fosil yakıt yakılan sistemlerde enerji dönüşümü sırasında, çevreye atılan zararlı emisyonların minimum miktarda olması çevreyi de daha az kirletecektir (Çomaklı, 2006).

Bugün birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıp enerji atık ısı geri kazanımıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Enerji fiyatlarındaki artış ısı geri kazanım ekipmanlarının yatırımlarını karlı ve çoğunlukla birkaç ayla birkaç yıl arasında değişen kısa sürelerde kendini geri öder hale getirmiştir. Bu imkandan yararlanmak için uygun ve etkili bir ısı geri kazanımı sisteminin geliştirilmesi önem taşımaktadır (Selbaş,1992).

Geçmiş dönemlerde yatırım politikası olarak yatırım maliyeti az işletme maliyeti yüksek sistemler tercih edilmiştir. Dolayısı ile mevcut sistemlerin pek çoğunda önemli ölçüde ısı geri kazanma potansiyeli mevcuttur. Bu potansiyeli değerlendirmek üzere kurulacak aktif ısı geri kazanma sistemlerinde çoğu zaman yatırım geri ödeme süreleri yukarıda sözü edilen kabul edilebilir süreler içerisinde kalabilmektedir (Arısoy, 2001).

Endüstriyel işlemler açısından bakıldığında verimliliği artırıcı çalışmalar yakıttan tasarruf sağlar, kaynakların verimli kullanımına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına önemli katkıda bulunurlar. Enerji verimliliğinin artırılması, ısı kayıp yerlerinin ve miktarlarının belirlenmesi ile mümkündür (Ertem, 2008).

5.2. Atık Isıdan Doğrudan Yararlanma Yöntemleri

Bu yöntemle atık ısıdan herhangi bir ısı değiştirgeci sistemi kullanmaksızın direkt olarak yararlanılır. Bu tür sistemlere örnek olarak herhangi bir üretim işleminden çıkan soğutma için kullanılan ya da içersinde çok az yanmış gaz bulunan atık baca gazları direkt olarak ya da taze hava ile karıştırılarak mahal ısıtılmasında kullanılabilir veya bu baca gazlarından direkt olarak proses hammaddesinin kurutulmasında faydalanılabilir.

Atık ısıdan direkt yararlanma sistemleri diğer atık ısı sistemlerine rağmen hem daha ucuz hem de uygulaması daha kolaydır. Ancak bu sistemin birçok yerde kullanılabilmesini sınırlayan önemli sakıncaları da vardır. Örneğin baca gazları ile

direkt olarak proses hammaddesinin kurutulması sistemi göz önüne alınırsa, baca gazları genellikle bünyesinde kükürt ve rutubet ihtiva ederler. Baca gazları sıcaklığı kurutma işlemi sırasında çığ noktası sıcaklığı altına düşerse oluşacak asit hem ürünlerin kalitesini kötü yönde etkileyecek hem de baca ve benzeri yüzeylerde korozyona yol açacaktır. Bu metot üretimin etkilenmediği sürece yalnız korozyon probleminin söz konusu olduğu durumlarda ekonomik açıdan diğer sistemlere tercih edilir.

5.3. Atık Isıdan Dolaylı Yararlanma Yöntemleri

Atık ısının direkt olarak kullanımının mümkün olmadığı durumlarda Isı transferini sağlayan çeşitli ısı değiştirici sistemler kullanılabilir. Bu tür sistemlerde atık ısının kullanımı ile elde edilen enerji birçok şekilde kullanılabilir. Bunlardan bir kısmı; kazan besleme suyunun veya yanma havasının ısıtılması sıcak su veya sıcak hava eldesi, atık ısı kazanları kullanımı ile buhar üretimi, mevcut tesisin herhangi bir yerinde ısı işleme girecek ham madde veya yarı mamul maddelerin ısıtılması, gerektiğinde atık ısı tesisleri ek enerji kaynağıyla takviye edilerek yüksek basınçtaki buhar eldesiyle birleşik enerji üretim santrallerinde kullanımındadır.

5.4. Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerinin Sınıflandırılması

Isı değiştiricilerinin kapsamları çok geniş olması sebebiyle, literatürde farklı kriterler dikkate alınarak sınıflandırmalar yapılmaktadır. Genel bir sınıflandırma Şekil 5.1’de verilmiştir (Altınışık, 2003).

Endüstriyel fabrikalarda atık ısının geri kazanımının temel yöntemi ısı değiştiricilerinin kullanımındadır. Endüstriyel bir ısı değiştiricisinin belirlenmesinde ısı transfer kapasitesi akışkanların sıcaklıkları, her bir akışkan devresinde izin verilebilecek basınç düşümleri ve ısı değiştiriciye giren akışkanların özellikleri ve hacimsel debilerin bilinmesi gerekir. Bu değerler ısı değiştiricisinin tasarım parametreleridir ve dolayısı ile maliyeti belirleyicidir.

Son tasarım, basınç düşümü, ısı değiştirici verimliliği ve maliyet üçlüsünün uzlaşımıyla gerçekleştirilir. Son tasarımda kararlara yol gösterici sabit maliyetlere karşı bütün sistemin bakım ve işletme giderlerinin karşılaştırılmasıdır. Böylelikle toplam maliyetler minimize edilebilir.



Şekil 5.1. Isı değiştiricilerin sınıflandırılması (Altınışık, 2003).

Bir uygun değer atık ısı cihazı seçiminde temel parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Atık ısı akışkanının debisi
- Atık ısı akışkanının sıcaklığı
- Atık ısı akışkanı için izin verilebilen en düşük sıcaklığı

- d. Isıtılan akışkanın kimyasal bileşimi
- e. Isıtılan akışkanın izin verilen en son sıcaklığı
- f. Eğer kontrol gerekliyse kontrol sıcaklığı

5.4.1. Rejeneratörler

İçinden sıra ile arka arkaya sıcak ve soğuk yani ısı veren ve ısı alan akışkanların geçtikleri ısı değiştiricileridir.

Gaz akışkan olarak kullanma gayesine göre genellikle çürük gazlar, baca gazları, azot, hava ve benzeri akışkanlar söz konusudur. Kanallardan geçen gazların ısıları kanal malzemeleri tarafından yutulur ve sonra geçen gazlara verilir.

Isıyı yutma ve ısı geçişi yönünden kanal malzemelerinin seçimi ile geometrileri çok önemlidir.

Periyodik bir şekilde ısı yutan ve geri veren rejeneratörleri çalışma şekline göre;

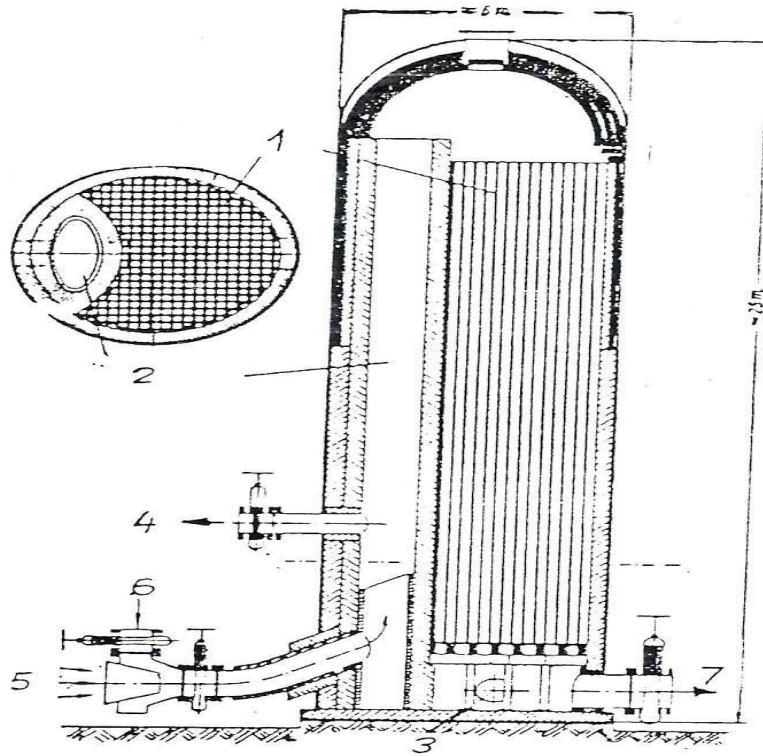
1. Genellikle sadece rejeneratör olarak adlandırılan sabit kanallı rejeneratör.
2. Döner rejeneratörler olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür.

5.4.1.1. Sabit kanatlı rejeneratörler

Şekil 5.2’de sabit kanatlı rejeneratör tipi genellikle yüksek fırınlarda ve cam fırınlarında olduğu gibi yüksek sıcaklıklardaki gazlar yardımıyla hava ısıtılmasında kullanılır. Isı deposu ateşe dayanıklı malzemedendir.

Yanma kanalından ise sıcak gazlar geçer ve çok yüksek sıcaklıklar elde etmek için ilave yanma yapılır. Bu yüksek sıcaklıktaki gazlar ısı deposu denilen kanalcıklardan yukarıdan aşağı doğru geçerken ısısını yaladığı malzemeye verir, alt kısımdan dışarı çıkar.

Belirli bir süre sonra sıcak gazların geçişi durdurularak, ısınacak soğuk hava ısı deposuna alt kısımdan gönderilir ve sıcak gazların ısıttıkları yüzeyleri yalayarak yutulan ısıyı geri alıp ısınırlar ve mesela yüksek fırına yanma havası olarak sevk edilirler. Sıcak gazlar ile ısınan soğuk havanın geçmeleri peşi sıra devam eder.

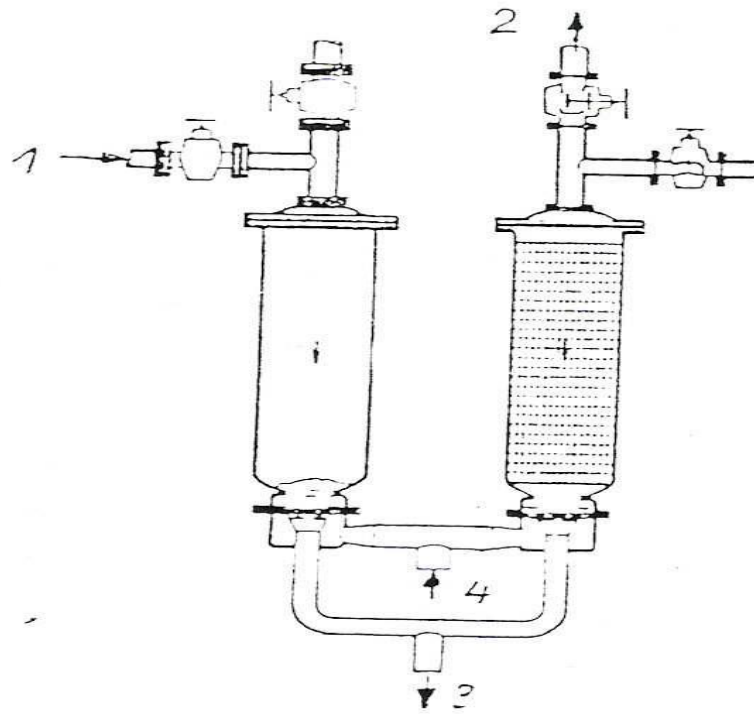


Şekil 5.2. Sabit kanatlı rejeneratör (Dağsöz, 1985)

Sabit kanatlı rejeneratör:

1. Isı yutucu ve verici (deposu)
2. Yanma borusu
3. Soğuk hava girişi
4. Sıcak hava çıkışı
5. Sıcak hava girişi
6. Yanma hava çıkışı
7. Sıcak gaz çıkışı

Şekil 5.3'te havanın soğutulması için kullanılan bir rejeneratör tipi görülüyor. Azot gazı geçerken kanalları soğutmakta, üst kısımdaki vanalar birkaç dakikalık süreler içinde periyodik olarak açılıp kapanarak azotun ve soğuyarak havanın geçişleri ayar edilmektedir. Isı alış verişi olan kanallar gözenekli veya kafesli malzemeden yapılmışlardır. Isı yutucu malzemelerin seçimleri önemlidir.



Şekil 5.3. Hava soğutulması için kullanılan rejeneratör (Dağsöz, 1985)

Hava soğutulması için kullanılan rejeneratör:

1. Hava girişi
2. Azot çıkışı
3. Hava çıkışı
4. Azot girişi

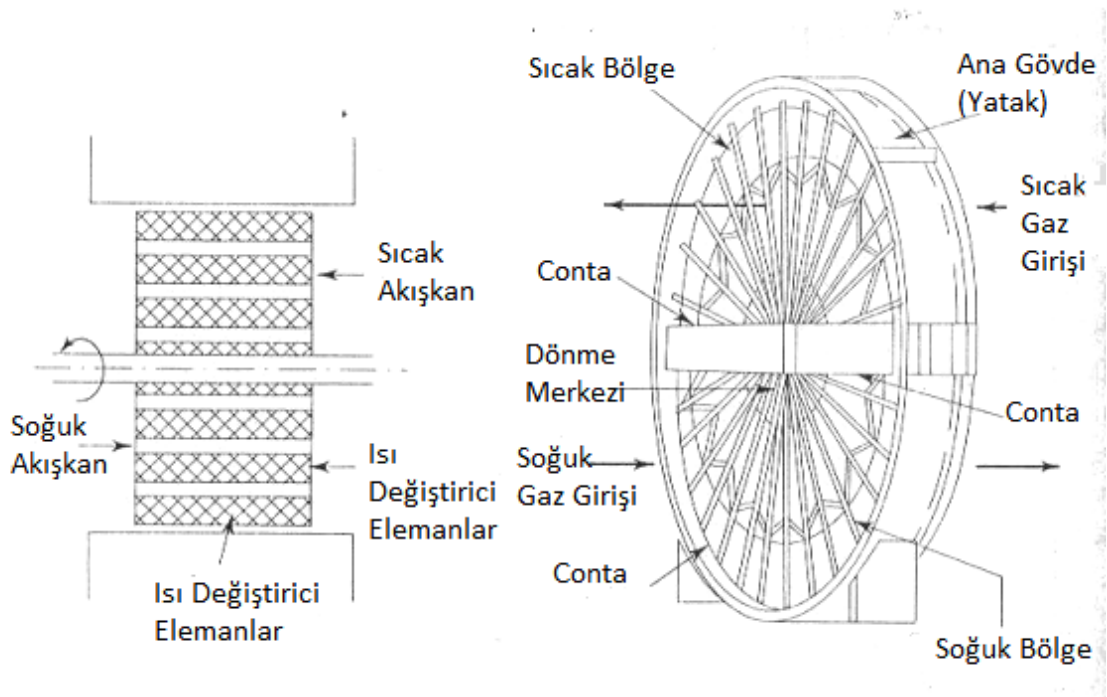
Sıcaklığı 1400°C ye kadar çıkan yüksek fırın gazlarının kullanıldıkları rejeneratörlerde ateşe dayanıklı malzemelerden faydalanılır. Ateşe dayanıklı malzemelerin kalınlıkları genellikle 200 mm civarında olup periyodik değişme süreleri 1 ile 2 saat arasında değişir. Kimyasal gayeler için kullanılan rejeneratörlerde yutucu duvar kalınlıkları 50 mm civarında alınır ve periyodik değişme süreleri 15 dakika kadar düşer.

Yüksek sıcaklığa dayanıklı ısı tutucu malzemeler; orta veya düşük sıcaklıklardaki rejeneratörlerde ısı yutucu malzeme olarak ince çelik alüminyum levhalar kullanılır.

Aşırı soğutma olan hallerde ince alüminyum levhalar ondüleli hale getirilerek kaydırılmış olarak yerleştirilirler. Böylece meydana getirilen kanallar arasındaki mesafeler 1 mm gibi çok küçük değerlere kadar düşürülür (Dağsöz, 1985).

5.4.1.2. Döner rejeneratörler

Ljungstrom hava ısıtıcıları olarak adlandırılan hava ısıtıcıları, kazanlardan çıkan dumanların ısınıp kazan yanma havasını ısıtmak için son otuz yıldan beri kullanılmaktadır. Şekil 5.4'te görülen döner rejeneratif hava ısıtıcıları, genellikle yavaşça dönen bir mil'e bağlı olan bir çerçeveye tespit edilmiş, birbirinden hafifçe ayrı metal plakalardan oluşur. Bu plakaların bir bölümünden ise ısıtılacak hava geçecek şekilde düzenleme yapılmıştır. Plakalar gaz akımı içinden yavaş hareketleri esnasında ısınırlar. Daha sonra aynı plakalar hava akımı içine girdiklerinden ısılarını havaya vererek soğurlar. Böylece devam eden bu dönme hareketi ile metal plakalar ısıyı sıcak gazlardan soğuk havaya taşımış olurlar. Plakalar milin etrafında dilimler halinde gruplanmıştır. Gaz ve hava akımları sızdırmazlıklarla birbirinden ayrılır ve karışımları en alt seviyede tutulmaya çalışılırlar. Bu üfleyiciler ısıtıcı yüzeylerin kurum ve yağla kaplanmasını periyodik olarak çalışmak sureti ile önlerler.



Şekil 5.4. Döner tip rejeneratör. (<http://chemicalengineeringdata.blogspot.com/>, 1.1.2013)

Döner tip ısı değiştiricilerin çok çeşitli kullanma alanları bulunmaktadır. Gaz türbinlerinde uzun zamandan beri başarı ile kullanılmaktadırlar. Ayrıca termik santrallerde hava ön ısıtıcısı olarak da döner rejeneratörler kullanılarak enerji tasarruf edilmektedir. Son yıllarda döner tip rejeneratörler iklimlendirme tesislerinde de kullanılmaya başlanmıştır (Arısoy, 1988).

5.4.2. Reküperatörler

Reküperatörler, herhangi bir kaynaktan gelen orta ya da yüksek sıcaklıktaki egzoz (duman) gazlarının enerjisinin geri kazanılarak başka bir gaz fazındaki akışkana aktarıldığı cihazlardır. Kısaca reküperatörler gazdan gaza ısı transferi sağlayan ekipmanlardır.

Örneğin baca gazından atılan enerji ile yakma havası ısıtılarak yanma verimini artırılır ve yakıt tasarrufu sağlar. Gazdan gaza ısı transfer katsayıları düşük olduğundan uygulamada artan ısı transfer alanını küçük hacimlerde sağlayabilmek için farklı yöntemler kullanılır. Ayrıca atılan enerjiyi taşıyan akışkanının özelliklerine bağlı olarak farklı tipte reküperatörler vardır.

Bunların bazıları;

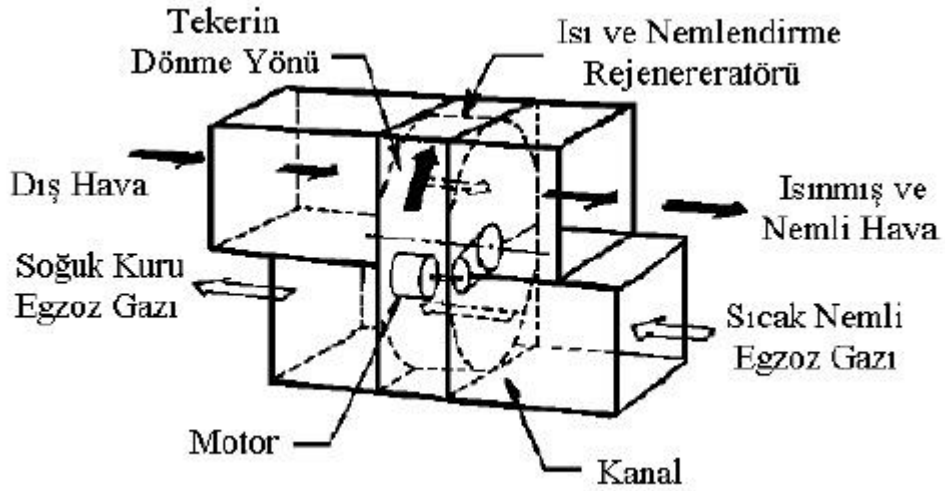
1. Metalik radyasyon reküperatörler
2. Konvektif (taşınım) reküperatörler
3. Seramik reküperatörler
4. Dikey çift borulu konvektif reküperatörler
5. Hibrit reküperatör (ışınım/taşınım hibrit reküperatör)

Reküperatörler tipleri içinde en yaygın olarak kullanılanı döner rejeneratörler olarak da bilinen ısı tekerleridir. Bunlar, düşük ve orta sıcaklıktaki atılan gaz enerjilerin kazanılmasında kullanılırlar. Tipik bir reküperatör Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Gözenekli disk yüksek ısı kapasiteli malzemeden yapılmıştır. Teker sürekli olarak farklı sıcaklıklardaki gazları taşıyan kanalların arasında döner. Diskin eksenine kanaldaki akışa paraleldir. Disk yavaşça dönerken duyulur ve aynı zamanda gizli ısı diskin yarısına sıcak gazdan transfer olur ve diğer yarısından da soğuk gaza geçer.

Bu tip rejeneratörler genellikle gaz türbinlerinde, buhar kazanlarında, cam fabrikalarında yakma havasının sıcak duman gazları ile ısıtılmasında ve iklimlendirme tesislerinde enerji ekonomisi sağlamak için çok kullanılırlar. Özellikle gaz türbinlerinde kullanıldığında, gaz türbininin etrafını sardığı için ses ve ısı yalıtımına yardımcı olur.

Isı tekerleri yüksek verime sahiptir. Uygulamaya bağlı olarak nemlendirme ve duyulur ısı kadar gizli ısı transferi de yapılabilir.

Isı tekerlerinin en önemli dezavantajları; akışkanlar arasında kaçakların olması, hareketli parçaların bulunması, tekerlek ve onun dış kabı arasındaki salmastraların bakıma ihtiyaç duymasındır (Erdem, 2010).

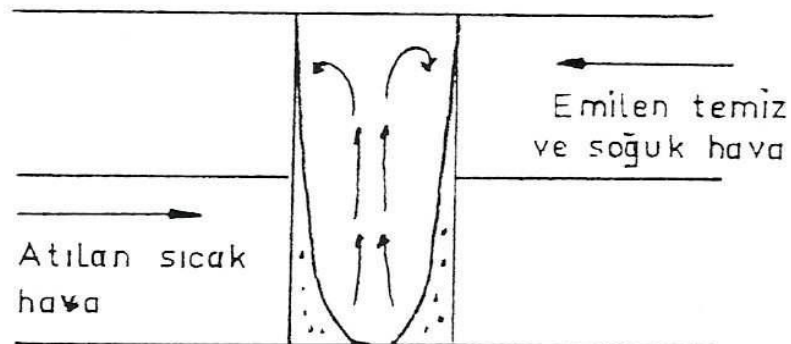


Şekil 5.5. Isı tekeri (Erdem, 2010)

5.4.3. Isı Borulu Sıcaklık Değiştiricileri

Kurutma ve ısıtma tekniğinde süreç sonunda dışarı atılan sıcak hava ve gazların enerjilerinin geri kazanılmasında çoğu kez ısı boruları tercih edilir. Isı borusu, her iki ucu kapalı ve içinde soğutucu bir akışkan bulunan bir ısı geri kazanma elemanıdır. Şekil 5.6'da gösterilen düşey durumdaki bir ısı borusunu göz önüne alalım. Altta yatay kanaldan atılan sıcak hava (veya gazlar) üstteki yatay kanaldan dışarı emilen temiz ve soğuk hava geçsin.

Atılan sıcak hava ısı borusunu dıştan yalarken ısısı cidardaki soğutucu akışkana geçer, kaynama ve buharlaşma olayları sonucu buharlaşan soğutucu akışkan yukarı kısma yükselir. Üst kısımda ise emilen soğuk ve temiz hava boruyu dıştan yalarken buhar fazındaki soğutucu akışkanın ısısını alarak ısınır. Bu kısımda buhar fazındaki soğutucu akışkan borunun iç yüzeyinde yoğunlaşarak ince film halinde aşağıya süzülür.

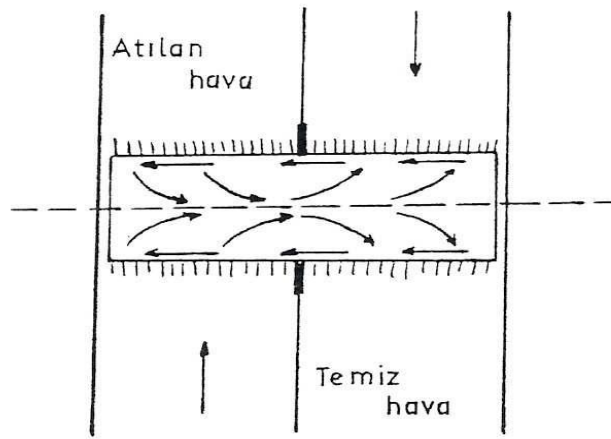


Şekil 5.6. Termosifon sisteme göre çalışan ısı borusu (Dağsöz, 1985)

Görüleceği üzere ısı borusu içinde sürekli iki fazlı akış meydana gelir, buhar yukarıya çıkarken yoğuşan kısım iç yüzeylerden aşağı akar. Yoğuşan akışkanın kendi ağırlığı ile aşağıya aktığı bu hal termosifon sistem olarak adlandırılır.

Isı borusunun yüzeyi her noktada hep aynı sıcaklıkta olup, aşağıdan yukarıya yani sıcak ortamdan soğuk ortama atılan ısı çok yüksektir. Şayet ısı borusu yerine aynı boyutta bakır boru kullanılsa idi, bakır boru haline nazaran 1000 misli fazla ısı aktarıldığı söylenebilir (Dağsöz, 1985).

Şekil 5.6'daki düşey olarak verilen ısı borusu yerine; Şekil 5.7'de görülen yatay boru kullanılması halinde yoğuşan soğutucu akışkanın buharlaşma bölgesine geri dönmesi zorlaşır.



Şekil 5.7. Kılcal sisteme göre çalışan ısı borusu (Dağsöz, 1985)

Bu sebeple borunun iç yüzeyine kılcal yapıdaki (gözenekli) elemanlar yerleştirilerek yoğuşan soğutucu akışkanın buharlaşma bölgesine doğru akması sağlanır. Bu hal kılcal sistem olarak adlandırılır.

Bazı ısı borularında merkezkaç, elektromagnetik ve elektrostatik kuvvetlerden de yararlanır. Fakat uygulamalarda genel olarak kılcal sistem kullanılır.

Isı borusu atılan kirli havadaki enerjiyi geri kazanarak sisteme giren temiz havaya verir. Soğutulan ünitelerde giren sıcak havadaki ısının, çıkan soğuk havaya bir ısı borusuyla aktarılmasıyla soğutma maliyetinde önemli ölçüde azalma sağlanabilir. Diğer uygulama alanları arasında,

- Kurutma, kavurma ve pişirme fırınlarından atık ısının geri kazanılarak yeniden kullanılması
- Yanma havası ön ısıtması

- Motor egzostlarından ısı geri kazanımı sayılabilir.

Isı borularının endüstriyel uygulamalarındaki sıcaklık limitleri (-140°C) ve (600°C) arasındadır. Isı borularının hiçbir hareketli parçası olmadığı için, bu sıcaklık limitleri arasında uzun süre çalışabilirler. Burada ısı kaynağının ve ısının aktarılacağı ortamın yan yana olması gereklidir. Aksi takdirde giriş ve çıkış gaz kanallarının modifiye edilmesi ilave masraflara yol açabilir.

5.4.4. Gaz-Sıvı Isı Değiştiricileri

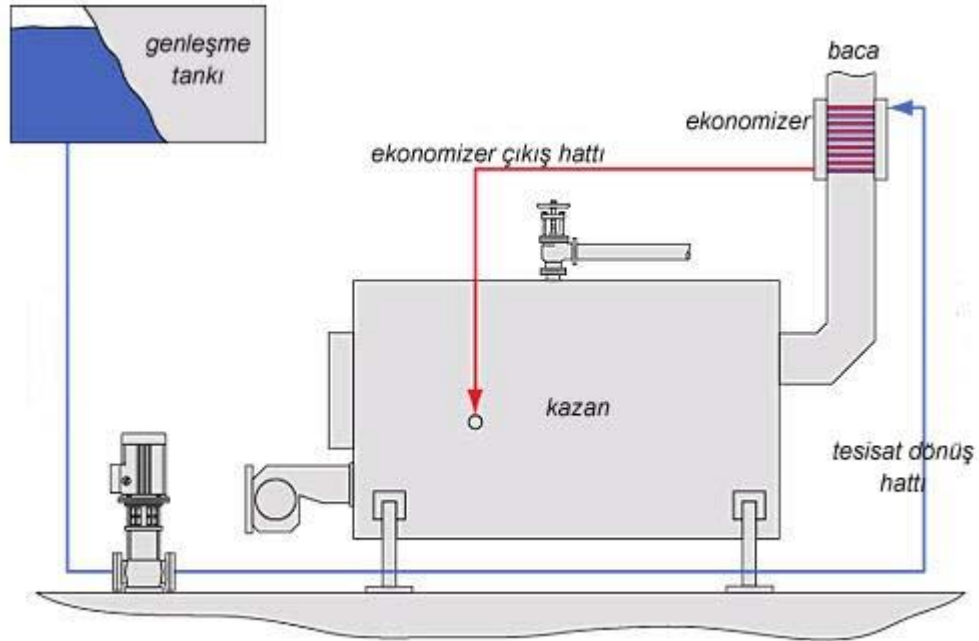
Gaz-sıvı ısı değiştirgeçleri, atık bir gazdaki ısyı direkt olarak sıvı bir ortama aktaran sistemlerdir. Gaz-sıvı ısı değiştirgeçleri düşük veya orta sıcaklık aralığındaki egzost gazlarından atık ısı geri kazanımı amacıyla kullanılırlar.

Başlıca uygulama alanları arasında Proseslerde sıvıların ısıtılması, Su ısıtma, Buhar kazanlarında besleme suyunun ön ısıtılması, sayılabilir. Gaz-sıvı ısı değiştirgeçlerinin kullanıldığı yerlerde atık gaz sıcaklığının çığlenme noktasının altına düşmemesine özen gösterilmelidir. Aksi takdirde, özellikle kullanılan yakıtların kükürt ihtiva ettiği hallerde, asit oluşumuna bağlı olarak yüzeylerde korozyonlar ortaya çıkabilir.

5.4.5. Kanatçıklı Borulu Isı Değiştiricileri

Buhar kazanlarının besleme suyunun ön ısıtılması, proseslerde gerekli sıvıların ısıtılması, hacim ısıtılmasında gerekli sıcak su, günlük tüketimde gereken sıcak suyun hazırlanmasında egzost gazlarındaki atık ısıdan faydalanmak mümkündür ve bu amaçla genellikle kanatçıklı borulu ısı değiştirgeçleri kullanılır. Bu sistemde ısıtılan sıvı dairesel kesitli borulardan geçirilir. Isı transfer yüzeyini arttırmak için borulara kanatçıklar ilave edilmiştir. Şekil 5.8'de egzost gazlarındaki atık ısıdan yararlanmak amacıyla tasarlanan kanatçıklı borulu ısı değiştirici görülmektedir. Uygulanan bu özel model ekonomizer olarak isimlendirilmektedir. Borular genellikle seri olarak bağlanırlar ancak sıvı tarafındaki basınç kayıpları ise boru dizilerinin sayısı ve borular arası mesafeler ayarlanarak düzenlenir. Kanatçıklı borulu ısı değiştiriciler modüler boyutlarda hazır olarak bulunabileceği gibi standart elemanlardan kolaylıkla imal edilebilir. Isıtılan sıvının sıcaklık kontrolü kanala gaz tarafı için bypass düzenlemesi eklenerek sağlanır. Bu düzenleme ile ısı değiştirici üzerinden geçen sıcak gazların akış hızı değiştirilebilir. Kanatçık ve boru malzemesi sıcak egzost ile sıvının aşındırıcı etkilerine dayanıklı

olmalıdır. Kanatçıklı borulu ısı değiştiriciler orta ve düşük sıcaklıklarda egzost gazlarındaki atık ısıdan yararlanmaya uygun cihazlardır.



Şekil 5.8. Kanatçıklı borulu ısı değiştirici, ekonomizer
<http://www.ankaraburulorservisi.net/>, 1.1.2013)

5.4.6. Atık Isı Kazanları

Atık ısı kazanları duman gazları ısısı ile suyun buharlaştırılmasını sağlayan asıl ısı transfer ekipmanlarıdır. Ve ısı transferi yalnızca konveksiyonla sağlanır. Atık ısı kazanları iki ana grupta sınıflandırılabilir:

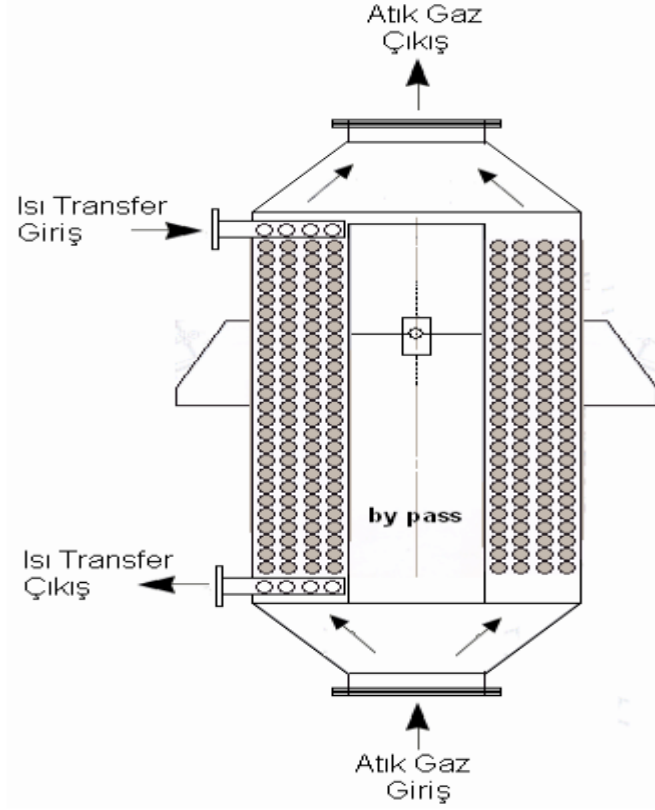
1. Duman borulu atık ısı kazanları
2. Su borulu atık ısı kazanları

5.4.6.1. Duman borulu atık ısı kazanları

Duman borulu atık ısı kazanları, baca gazlarının boruların içinden, suyun boruların dışında aktığı silindirik kazanlardır. Burada boruların içinden gecen baca gazlarının ısısından yararlanarak kazanda doymuş buhar üretilmektedir.

Duman borulu atık ısı kazanlarının konstrüksiyonu, yakıtla çalışan alev borulu kazanlara benzemekle beraber önemli farklılıklar mevcuttur. Duman borulu atık ısı kazanlarında kullanılan boru çapları yakıtla çalışan kazan borularına nazaran daha ufaktır. Dolayısıyla aynı dizilişteki boru arası mesafe yakıtla çalışan kazanlara nazaran daha küçüktür. Duman borulu atık ısı kazanlarında aynalar hemen hemen tamamen borularla doldurulmuş, buhar hacmi ise yakıtla çalışanlara nazaran daha aza

indirilmiştir. Duman borulu atık ısı kazanları yalnız konveksiyonla ısı transferi yapabildiğinden genellikle tek geçişli, nadiren çift geçişli dizayn edilirler. Şekil 5.9’da duman borulu atık ısı kazanlarının prensip şekli gösterilmiştir.

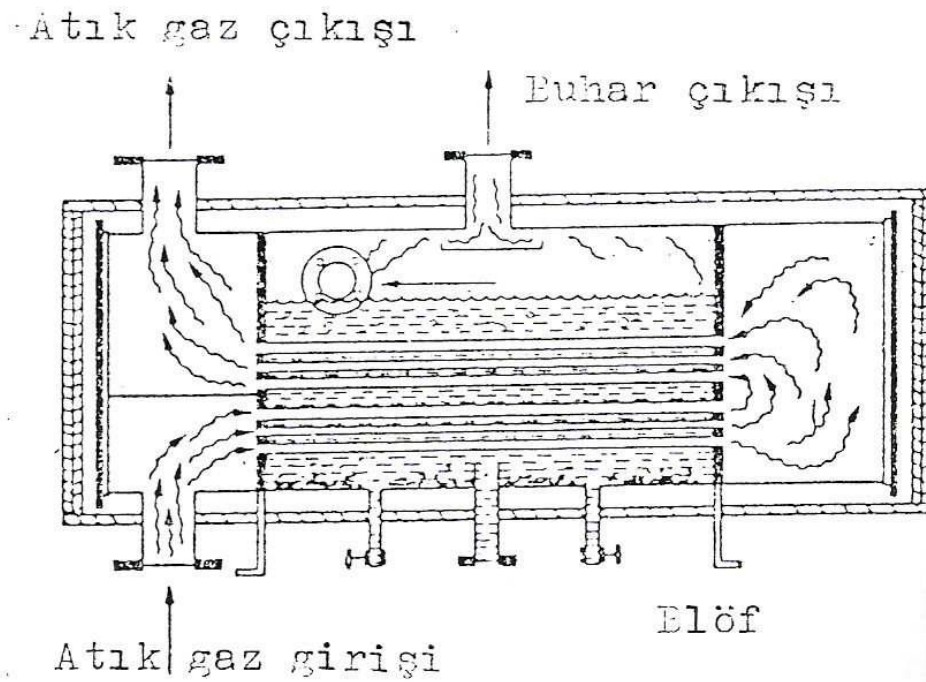


Şekil 5.9. Dikey tip duman borulu atık ısı kazanı,
(<http://www.demirmakina.com,1.1.2013>)

Bu tür kazanların iç cidarlarını samot veya refrakterle kaplamaya gerek yoktur. Ancak dış izolasyonun yapılması gereklidir. Atık duman gazlarının kazana giriş sıcaklıkları diğer kazanlara nazaran daha düşük olduğundan bu kazanların projelendirilmesinde konveksiyonla ısı transferinin mümkün olduğunca yüksek olmasına çalışılır. Bunun sağlanması için de kazanın ilk kısımlarındaki gaz hızları nispeten yüksek seçilir. Bu hızlar 18-22 m/s arasında değişir. Kazan çıkışındaki buhar hızı, doymuş buharın kazandan çıkarken fazla su sürüklememesi için genellikle 4-6 m/s alınır. Eğer sistemde kızdırıcı yoksa ve doymuş buhar doğrudan yararlanma yerine gönderilecekse, hız ortalama olarak 15-20 m/s alınabilir. Bu kazanlarda toplam ısı transfer katsayısı; yüzeylerin temizlik derecesine, duman gazı giriş sıcaklığı ve hızına bağlı olarak değişim gösterirler. Bu tür kazanların verimleri, devreye bir eko ilave etmek suretiyle önemli ölçüde artabilir. Bu gibi tesislerde verim %70'lere ulaşır. Endüstri tesislerinden çevreye

atılan duman gazları içinde, büyük oranlarda toz ve imalatla ilgili yabancı madde parçacıkları bulunmaktadır. Atık ısı kazanlarının verimli çalışabilmesi ısıtma yüzeylerinin temiz kalması ile ilgili olduğundan, bu toz ve yabancı parçacıkların özel önlemlerle tutulması gereklidir. Bu önlemler genellikle filtrelerle siklonlar olmaktadır.

Duman borulu atık ısı kazanları kirlilik açısından 1 m^3 duman gazı içinde 200 gramdan az toz içeren gazlarda kullanılmalıdır. Duman borulu atık ısı kazanları yararlanma amacına işletme şartlarına göre yatay ve dikey tipte dizayn edilebilirler. Şekil 5.10'da da yatay borulu bir atık ısı kazanının şekli gösterilmiştir.

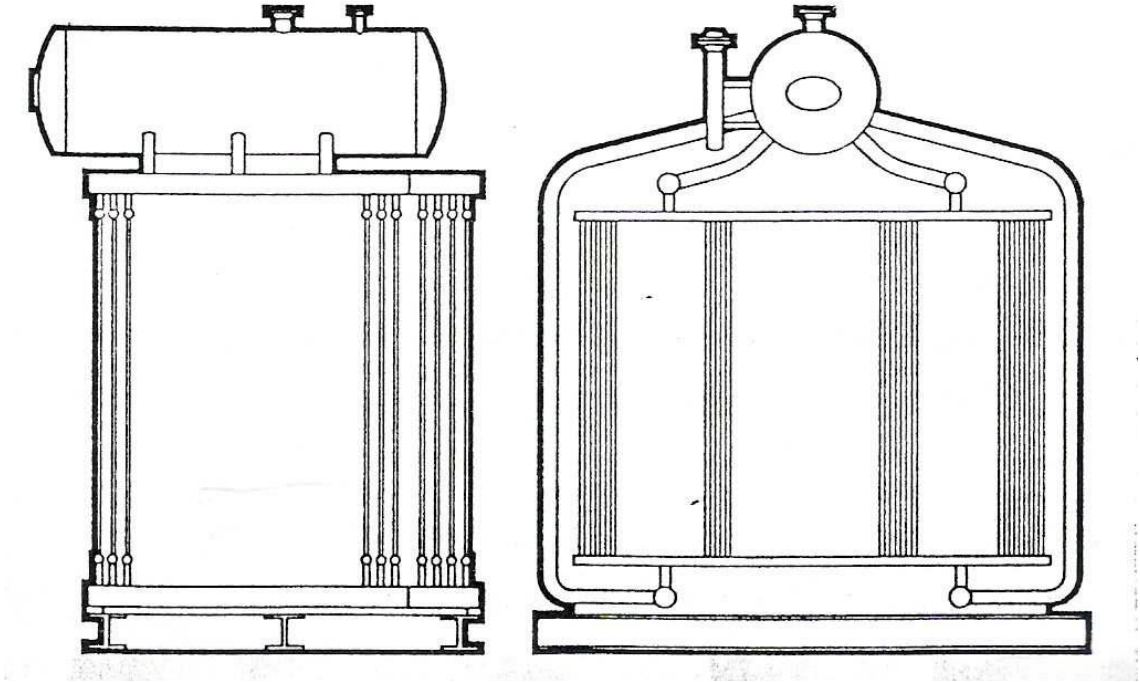


Şekil 5.10. Yatay borulu atık ısı kazanı ,(Dağsöz, 1985)

Yatay atık ısı kazanlarının tesis yerlerine biraz meyilli monte edilmeleri tavsiye edilmektedir. Bu sayede sirkülasyonun iyileştirilmesi, en yüksek kısımda buharın toplanmasının kolaylaştırılması ve en alçak kısımda da duman gazları içinde bulunan toz ve katı parçacıkların toplanması kolaylaştırılmış olacaktır. Bu meyil açısı yaklaşık olarak 15° alınabilir. Dikey tip atık ısı kazanları içinde yüksek oranda kükürt bulunan yakıtların yanması sonucu oluşan veya içinde yüksek oranda toz bulunduran duman gazlarından yararlanıldığında tercih edilebilirler. Duman gazlarının kazana girişi alttan, çıkışı üstten sağlanır. Bu suretle oluşabilecek yoğuşmalar duman gazları ile sürüklenerek üst kısımdan dışarı atılabilmektedir.

5.4.6.2. Su borulu atık ısı kazanları

Su borulu atık ısı kazanları, bir veya birkaç dramın boru demetleri ile bağlanması suretiyle meydana gelmiş olup, duman borulu atık ısı kazanlarının aksine boruların içinden su-buhar karışımı, dışından duman gazları geçer. Su borulu atık ısı kazanlarının resimleri Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Su borulu atık ısı kazanı, (Dağsöz, 1985)

Bu baca gazları aşağıdan yukarı doğru akmaktadır. Su ise ters akım prensibine göre üstten girmektedir. Ortada buharlaştırıcı kısım yer almaktadır. En sıcak bölge olan altta ise kızdırıcı bulunmaktadır. Su borulu atık ısı kazanları yüksek basınç ve sıcaklıkta buhar elde edilmek istendiğinde veya duman gazı debisinin yüksek değerlerde olduğu atık ısı tesislerinde tercih edilirler. Atık baca gazları debisinin $20000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 'dan büyük değerlerde olduğu atık ısı tesislerinde, su borulu kazanlar tercih edilmektedir. Su borulu atık ısı kazanlarında duman gazı hızları, duman borulu atık ısı kazanlarına nazaran daha küçük seçilirler. Duman gazı hızları 6-12 m/s değerleri arasındadır.

Bu kazanların toplam ısı transfer katsayısı; yüzeylerin temizlik derecesine, duman gazı giriş sıcaklığına ve hızına bağlı değişim gösterirlerse de ortalama olarak $35 \text{ Kcal} / \text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$ civarındadır. Su borulu atık ısı kazanları, duman borulu atık kazanlarına nazaran bünyesinde yüksek oranda toz ve yabancı madde içeren gazların yararlanılması durumunda tercih edilmektedir. Su borulu atık ısı kazanlarında, borular genellikle dikey

konulduğundan, duman gazlarında bulunan tozların ısı transfer yüzeyleri üzerinde kirlenme yapması azalmaktadır. Bu kazanlarda süper hiter ve ekonomizer de genellikle dikey konumda yerleştirilir.

Su borulu atık ısı kazanlarının konstrüksiyonunda duman gazlarının içinde bulunan toz ve yabancı maddeler dikkate alınarak aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

1. Kazan girişinde, gazların ani yön değiştirmesi sağlanarak toz ve yabancı maddelerin çökmesi sağlanmalıdır.
2. Gaz hızları nispeten düşük seçilerek ısıtma yüzeylerinde aşınmalar minimuma indirilmelidir.
3. Gereken yerlere perdeler koymak suretiyle gazların bütün boruları aynı oranda yalamaları sağlanmalıdır.
4. Yüzeylerin temizliğini sağlamak için, bol miktarda üfleme memesi kullanılmalıdır.
5. Kazanın sık sık temizliği yapılacağı düşüncesiyle gereken yerlere giriş kapağı yapılmalıdır.
6. Birikecek tozların özel bir tertibatla toplanması sağlanmalıdır.

5.4.7. Ekonomizerler

Baca gazlarının ısisından yararlanarak besleme suyunun ısıtılmasını sağlayan ekipmanlara ekonomizer denilmektedir. Atık ısı kazanlarının verimliliğini arttırmak ve kazanlar içindeki aşırı sıcaklık değişmelerini önlemek için besleme suyu ekonomizerde ısıtılarak kazana gönderilir. Ekonomizerin tesiste kullanılmasının bir faydası da suyun ısıtılması sırasında, kazanda birikime yol açacak maddelerin çökmesine ve kazana gitmeden sudan ayrılabilmesine olanak vermektir. Bu cihazlarda; genellikle besleme suyu borularının içinden duman gazları ise boruların dışından akar. Baca gazlarının boruların içinden, suyun boru dışından aktığı tiplerde mevcuttur. Ekonomizerler genellikle ters akımlı dizayn edilirler. En yaygın ekonomizer tipi, dökme demirden flanşlı ve dört köse kanatlı borulardan imal edilen ekonomizerlerdir. Bu borular yatay olarak yerleştirilmiş ve yine dökme demirden yapılmış şablonlarla birleştirilmiştir. Bu tipler, yüksek basınçlarda uygun olmakla beraber, besleme suyunun yumuşatılmış, gazdan ve havadan arıtılmış olmasını gerektirirler. Ekonomizerlerde kullanılan boru çapları değişkendir. Genellikle 48-97 mm iç çaplı borular kullanılır.

Ekonomizerlerde ısı transferi konveksiyonla sağlanmaktadır. Suyun ısı iletim katsayısı; duman gazlarına nazaran çok yüksek olduğundan toplam ısı transfer katsayısı, duman gazı tarafındaki ısı transfer katsayısına yaklaşık eşit olmaktadır. Bu değer, duman gazlarının ekonomizere giriş hızına ve sıcaklığına, ekonomizerin dizaynına, ısı transfer yüzeylerinin temizliğine vs. bağlı değişiklik göstermekle beraber, ortalama 10-25 Kcal /m²h °C arasında kalmaktadır.

Duman gazları tarafında kanatlı boru kullanılması toplam ısı transfer katsayısını arttıracaktır. Kanatlı boru kullanılması durumunda yüzey sıcaklıkları yükseleceğinden duman gazlarının ısı transfer yüzeyleri üzerinde yoğunlaşma tehlikesi de azaltılmış olacaktır. Ekonomizerlerde duman gazı hızları 4-15 m/s arasında seçilir.

Duman gazları içindeki su buharı ve kükürt dioksitin yoğunlaşıp ısı transfer yüzeylerine zarar vermesini önlemek için suyun ekonomizere giriş sıcaklığı, duman gazlarının çiğ noktası sıcaklığının üzerinde olmalıdır. Suyun ekonomizerden çıkış sıcaklığının, doymuş buhar sıcaklığından aşağıda tutulması, ekonomizer için zararlı olan su buharının oluşmaması açısından önemlidir.

Ekonomizerler ve hava ön ısıtıcıları, kayıp ısıyı geri kazanma ekipmanları olarak endüstride kullanılır. Ekonomizerler sadece kazanlarda kullanılırken hava ön ısıtıcıları, kazanların ve ocakların her ikisinde de kullanılır. Besleme suyu veya yakma havası, ekonomizer veya hava ön ısıtıcısından geçen baca gazındaki kayıp ısıyı emdiği için toplam verimde önemli bir artış sağlar (Sinanoğlu, 1996).

5.4.8. Kızdırıcılar

Kızdırıcılar; atık ısı kazanlarında üretilen doymuş buharın kızdırıldığı ekipmanlarıdır. Serpantin şeklindeki boru demetlerinden oluşurlar. Bu kızdırıcı içinde; teorik olarak doymuş, pratikte ise doymuş buhar kuruluşuna çok yakın yaş buhar, atık baca gazlarının ısısından yararlanmak suretiyle sabit basınç altında ısıtılır ve istenilen şartlarda kızgın buhar elde edilir. Genellikle buhar boruların içinden duman gazı boruların dışından akar. Gaz sıcaklığının yüksek olması halinde, gaz ve buharın aynı yöne akması tercih edilmektedir. Gaz sıcaklığı düşük ise, iyi bir ısı geçişine, dolayısıyla daha yüksek kızdırıcı gücüne olanak sağlayan ters akım tercih edilmektedir. Kızdırıcılarda, boru malzemesi olarak sıcaklığa dayanıklı alaşımlı çelikler kullanılır. Boru malzemesini aşırı sıcaktan korumak ve duman gazları içindeki toz, kül gibi

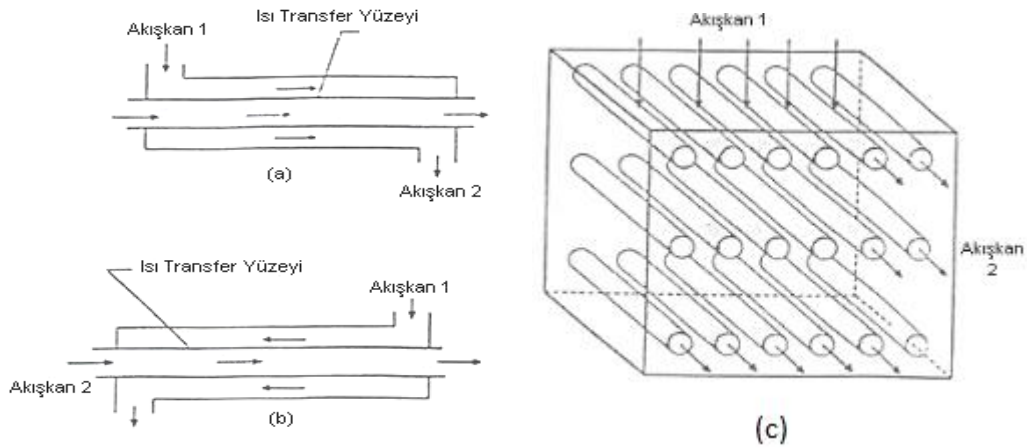
maddelerin boru yüzeyine yapışmasını önlemek için, 900°C'den yüksek atık duman gazlarında, özel malzemeler kullanılmalı ve önlem alınmalıdır.

Kızdırıcılarda duman gazı hızları, 5-12 m/s arasında seçilirler. Buhar hızının ise, kızdırıcı borularının iyi bir şekilde soğutulması ve kızdırıcı gücünün azalmaması için belli bir değer altına düşmemesi gerekmektedir. Bu hız ortalama olarak 15-20 m/s arasında olmaktadır. Boru demetleri arası mesafe boru çapına, gaz debisine, gaz hızına bağlı olarak, 70-200 mm arasında değişmektedir. Toplam ısı transfer katsayısı; buhar hızına, doymuş buharın ıslaklığına, kazan gücüne, duman gazı sıcaklığına vs. bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ortalama olarak 20-30 kcal/m² °C değerleri arasında kalmaktadır. Kızdırıcıların konstrüksiyonunda ilk sıralardaki kızdırıcı boruları hafif meyilli yerleştirilerek buhar içinde bulunabilecek suyun başlangıçta ayrılmasına çalışılabilir. Kızdırıcılarda, özellikle yüksek sıcaklıklarda, buhar çıkış sıcaklığının mümkün olduğu kadar sabit tutulmasına çalışılmalıdır. Buhar sıcaklığını kontrolü; kızgın buharın doymuş buharla karıştırılması, kızdırıcıdan geçen duman gazı miktarının ayarlanması (bypass) veya kızgın buhar soğutucuları yardımı ile yapılmaktadır.

6. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN TEMEL TASARIM YÖNTEMLERİ

Isı değiştiricilerin dizaynında esas problem performans ve boyuttur. Isı değiştiricisinin performansına etki eden faktörler akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları, minimum basınç dūřuřu, uygun ısı transfer yüzeyi ve akışkanın geçiş kademesi sayılabilir. Isı değiştiricilerin boyutlarına etki eden faktörler ise ısı değiştiricisinin seçilen tipi, sıcak ve soğuk akışkanın karşılaşması, akış oranı, basınç kayıpları ve akışkanın giriş çıkış sıcaklıklarıdır (Altınışık, 2003).

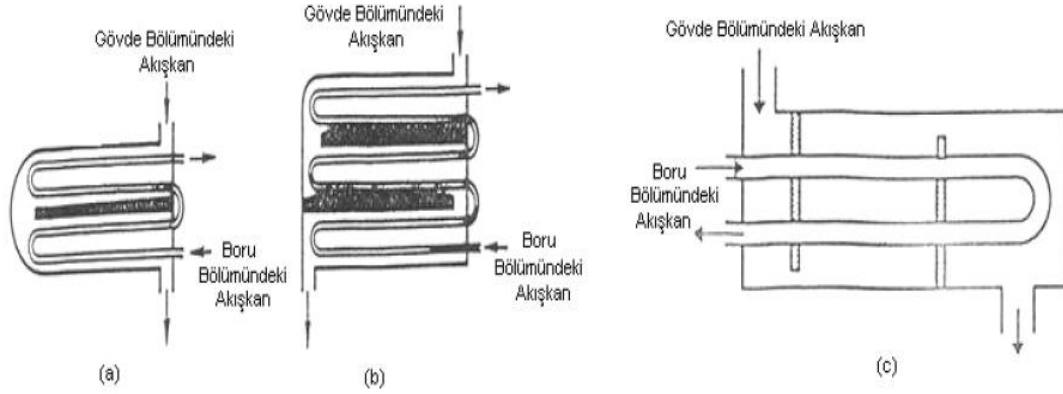
Elimizde mevcut bir ısı değiştirici için belirli bir kütlesel debi, giriş-çıkış sıcaklıkları ve izin verilen basınç kayıpları için akışkan çıkış sıcaklıkları ve transfer edilen enerji miktarı hesaplanır. Hesaplanan bu değerler kullanılarak da sistemin uygun olup olmadığına karar verilir. Tasarımda karşımıza çıkacak diğer bir sorun da boyutlandırma dır. Bu problemde amacımıza uygun bir ısı değiştirici tipi seçilerek ve bu ısı değiştiricide sıcak ve soğuk akışkanların giriş çıkış sıcaklıkları, kütlesel debiler ve ΔP belirlenerek bu koşullardaki ısı transferini sağlayacak ısı değiştiricinin boyutları hesaplanır. Daha önceki sınıflandırmada dikkate alarak ısı değiştiricileri akış düzenlemelerine göre farklı şekilde isimlendirmiştir.



Şekil 6.1. Isı değiştiricilerin akış şekline göre sınıflandırılması.(Altınışık, 2003)

Şekil 6.1' a,b,c'de de görüldüğü gibi ısı değiştiriciler paralel akışlı, ters akışlı ve çapraz akışlı olarak isimlendirilebilirler.

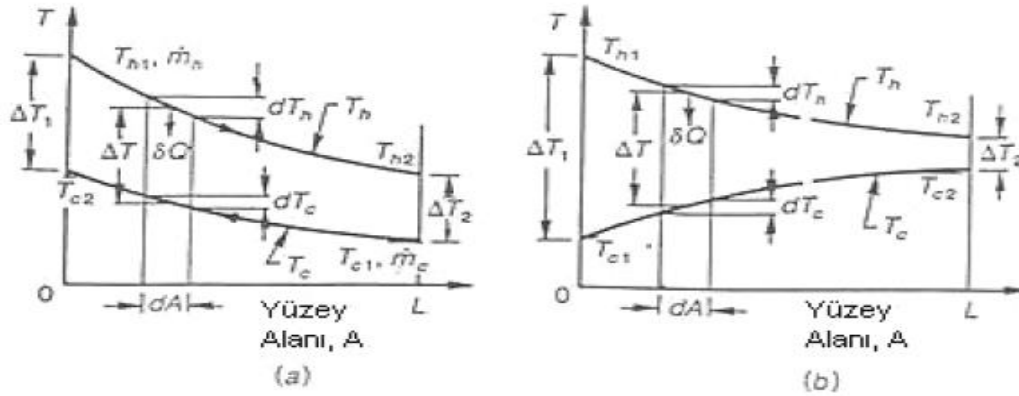
Şekil 6.2’de çok geçişli akış düzenlemeleri görülmektedir.



Şekil 6.2. Ters akışlı çok geçişli ısı değiştiriciler (Altınışık, 2003)

Akış modellerine göre bu şekilde sınıflandırdığımız ısı değiştiricilerde boyutlandırma ve verim hesaplamaları ısıl analiz kapsamında değerlendirilir. Isı değiştiricilerin tam bir tasarımında kurulacak sistemin yapısal ve ekonomik açıdan da incelenmesi önemli ve gereklidir.

Bu çalışmada dikkate alacağımız hava-su ısı transferi süreçlerinde sistemdeki sıcaklık değişimi akış düzenine bağlıdır. Farklı akış düzenlemeleri için akışkanlarının sıcaklıklarının ısı değiştirici girişinden itibaren değişimleri Şekil 6.3’te görülmektedir.



Şekil 6.3. Paralel Akım, Ters Akım, Buharlaştırıcı ve Yoğuşturucu Isı Değiştiricilerinde Akışkan Sıcaklığı Değişimi. (a)Ters Akış (b)Paralel Akış

Şekil 6.3 (a)’da Ters akımlı sistemdeki sıcaklık değişimi görülmektedir. Burada her iki akışkan arasındaki sıcaklık farklılığı paralel modele göre ısı değiştirici uzunluğu boyunca daha az bir değişim göstermektedir. Paralel akışlıda ise ısı değiştiricinin giriş noktasında sıcak akışkan en sıcak, soğuk akışkan ise en soğuk konumdadır. Dolayısıyla

ΔT girişte en yüksek değerdedir, ilerledikçe ΔT değeri gitgide küçülür. Sıcaklık profillerinin yapısı ayrıca akışkanların ısı kapasitelerine ($\dot{m}.C_p$) bağlıdır.

Isı değiştiricileri termodinamiğin birinci yasasına göre incelersek kararlı hal koşullarında kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilerek ve açık sistem oldukları düşünülerek birinci yasaya göre $\delta Q = m.dh$ yazılabilir. Denklemi integre ederek;

$$Q = m.(h_g - h_c) \quad (6.1)$$

şeklinde yazılabilir.

m : Kütlesel Debi (kg/h)

h : Akışkanların Entalpi Değerleri (kcal/kg)

Isı değiştiricilerinin incelenmesinde bu sistemlerin dış yüzeylerinin çok iyi yalıtıldığını dolayısıyla adyabatik olarak çalıştıkları varsayılırsa enerji korunumu ilkesini sıcak ve soğuk akışkanlara uyguladığımızda sırasıyla;

Sıcak akışkan için;

$$Q = \dot{m}_h .(h_{hg} - h_{hc}) \quad (6.2)$$

\dot{m}_h = Sıcak Akışkanın Kütlesel Debisi (kg/h)

Soğuk akışkan için ise ;

$$Q = \dot{m}_c .(h_{cg} - h_{cc}) \quad (6.3)$$

\dot{m}_c = Soğuk Akışkanın Kütlesel Debisi

Eğer incelediğimiz ısı değiştiricide faz değişimi söz konusu değilse entalpi değişimi özgül ısılar cinsinden ifade edilebilir. Yani sıcak akışkan için;

$$Q = (\dot{m}.C_p)_h .(T_{hg} - T_{hc}) \quad (6.4)$$

Soğuk akışkan için;

$$Q = (\dot{m}.C_p)_c .(T_{cg} - T_{cc}) \quad (6.5)$$

Şekil 6.3'ü incelersek ısı değiştiricinin akış modeline bağlı olarak sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki sıcaklık farkının ($\Delta T = T_2 - T_1$) ısı değiştiricinin içindeki konumla ve akış düzenlemesiyle yakından ilgili olduğunu görürüz. ΔT 'deki bu değişim nedeniyle ısı değiştiricilerin ısı analizinde tüm sistem için uygun bir ΔT 'nin tanımlanması gerekir.

Isı değiştiricilerin dizayn parametrelerinin hesaplanmasında ve ısı değiştiricinin boyutlandırılmasında kullanılacak önemli bir denklem de;

$$Q = U.A.\Delta T_m \quad (6.6)$$

Bu ifade de (U) toplam ortalama ısı transfer katsayısı, (A) ısı transfer alanı, (Q) transfer edilen enerji miktarı ve ΔT_m ise sıcak ve soğuk akışkan arasındaki logoritmik ortalama sıcaklık farkıdır. ΔT_m , T_{hg} , $T_{hç}$, T_{cg} ve $T_{cç}$ 'in fonksiyonu olarak bulunmaktadır.

6.1. Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesabı

Isı değiştiriciler genelde tek bir cins malzemeden imal edilirler. Ancak bazen korozyon gibi kimyasal etkileşimleri bir ölçüde engellemek amacıyla malzeme yüzeyi plastik bir koruyucuyla kaplanabilir. Pratikte ısı değiştiricilerde kullanımları süresince zamana bağlı olarak yüzeyde birikinti meydana gelir. Birikinti oluşumu ısı transferine ilave bir direnç yaratır. Uygulamada büyük bir sorun yaratan birikinti oluşumu akışkan tipi, akışkan hızı, yüzeylerin yapısı ve ısı değiştiricinin kullanım süresinin fonksiyonudur. Ayrıca ısı değiştiricilerde akışkanlardan biri veya her ikisinin olduğu yüzeylere kanatçıklar eklenebilir. Kanatçık eklenmesiyle yüzey alanında artış sağlanır, ancak kanatçık ilavesi yüzeyde ek bir direnç de yaratır. Bu nedenle kanatçık eklenmesinin de dikkatli yapılması gerekir. Pürüzsüz, düz ve üzerinde birikinti olmayan bir yüzey için,

(UA) çarpımı;

$$UA = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{\frac{1}{h_1.A} + \frac{L}{k.A} + \frac{1}{h_2.A}} \quad (6.7)$$

R_t = Toplam ısı direnç.

k = Duvar malzemesinin ısı iletim katsayısı

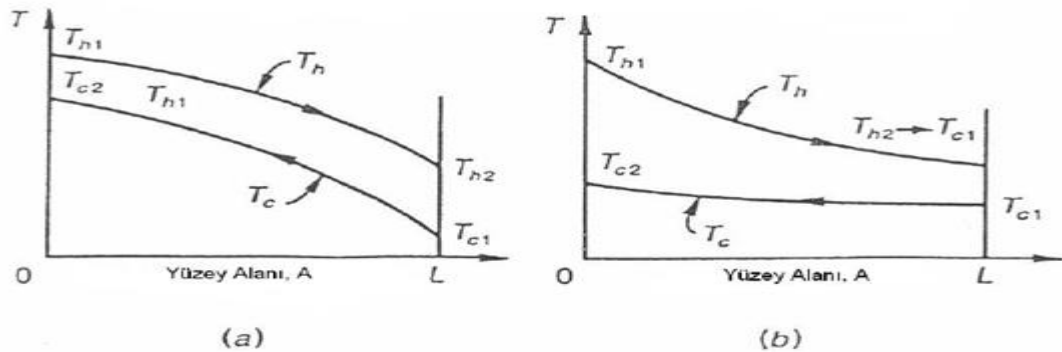
h_i, h_o = Isı taşınım katsayıları.

6.2. Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı

Isı değiştiricilerinde akışkanların sıcaklıkları noktadan noktaya değişir. Bu değişim termodinamiğin 2. yasası gereğidir. Aynı zamanda sabit ısıl direnç için, ısı değiştiricisi boyunca ısı geçiş oranı da değişecektir. Sıcak ve soğuk akışkan arasındaki fark ne kadar fazla ise, değişim de o ölçüde artacaktır. Isı değiştiricisi boyunca sıcaklık farkının değişken olması, akışkan logaritmik ortalama sıcaklık farkı hesabının kullanılmasını gerektirir. Isı değiştiricilerinin tüm tipleri için ortalama logaritmik sıcaklık farkının hesaplanması oldukça karmaşıktır. Bu çalışmada ters akımlı bir ısı değiştirici kullanılacağından ters akışlı bir ısı değiştiricinin logaritmik ortalama sıcaklık farkı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. Ters akımlı ısı değiştiricilerinin verimi paralel akımlı ısı değiştiricilerinin veriminden daha yüksektir. Bu ters akım nedeniyle oluşan daha yüksek sıcaklık farklarından meydana gelir. Aynı zamanda daha performanslı ısı değişimi sayesinde ters akımlı ısı değiştiricilerin boyutları ve maliyetleri paralel akımlı ısı değiştiricilerine göre daha küçüktür.

Ters akımlı ısı değiştiricilerinde sıcak ve soğuk akışkanların akış şekilleri birbirine göre ters yöndedir. Soğuk akışkanların çıkış sıcaklığı, sıcak akışkanın çıkış sıcaklığından daha büyük olabilir.

şekil 6.4'te ters akımlı ve tek geçişli bir ısı değiştiricisine ait akış prensip diyagramı verilmiştir. şekil 6.4 (a)'da ve şekil 6.4 (b)'de ters akım prensibine göre çalışan ayrı dizayn edilmiş ısı değiştiricilerin akışkanlarının akış şemaları verilmiştir. Her iki değiştiricide de sıcak akışkanın girdiği taraftan soğuk akışkan sıcaklığı artmış şekilde çıkış yapmaktadır. Yine sıcak akışkan soğumuş olarak ısı değiştiriciye terk ederken soğuk akışkan bu bölgeden ısı değiştiriciye giriş yapmaktadır.



şekil 6.4. Ters akımlı ve tek geçişli bir ısı değiştiricisi.

Ters akımlı ısı değiştiricisi için yazılacak logaritmik ortalama sıcaklık farkı Şekil 6.4’de Şematik gösterimi yapıldığı üzere;

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \quad (6.8)$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} \quad (6.9)$$

eşitliklerinden faydalanarak hesaplanır.

Logaritmik ortalama sıcaklık farkının genel ifadesi aşağıdaki Şekilde hesaplanır.

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (6.10)$$

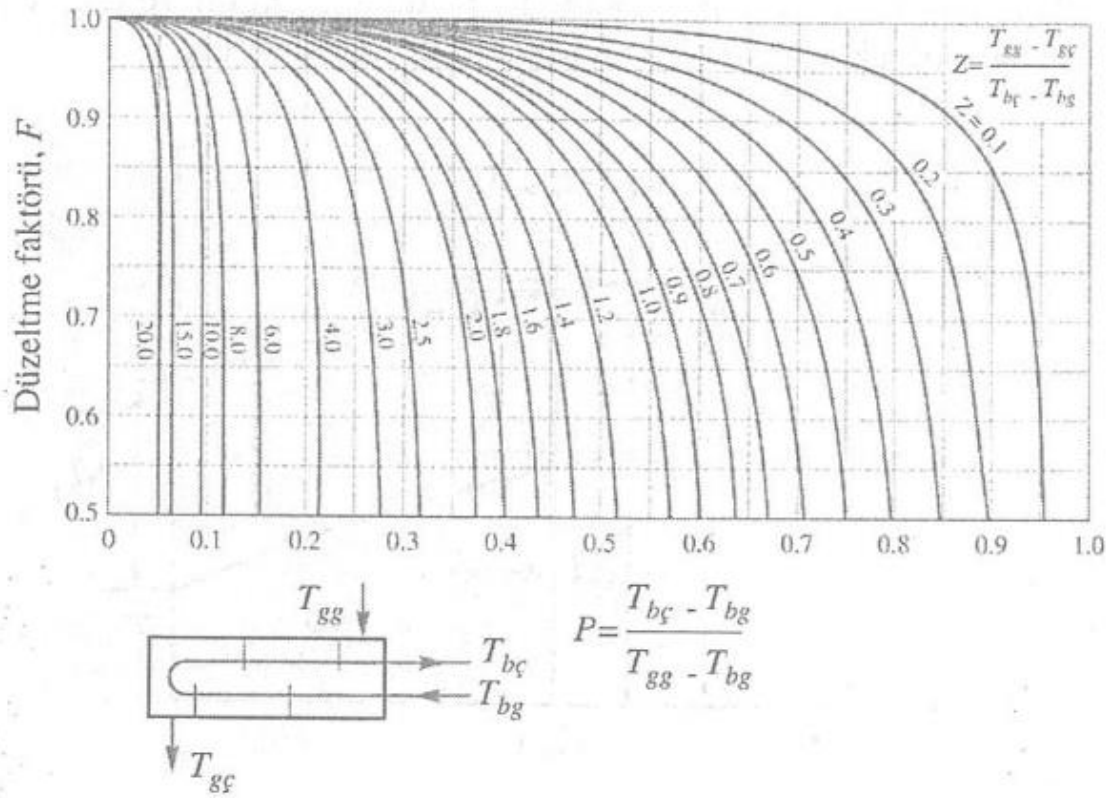
eşitliği ile hesaplanır.

6.3. Çok Geçişli ve Ters Akışlı Isı Değiştiricilerinde Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı ve F Düzeltme Faktörü

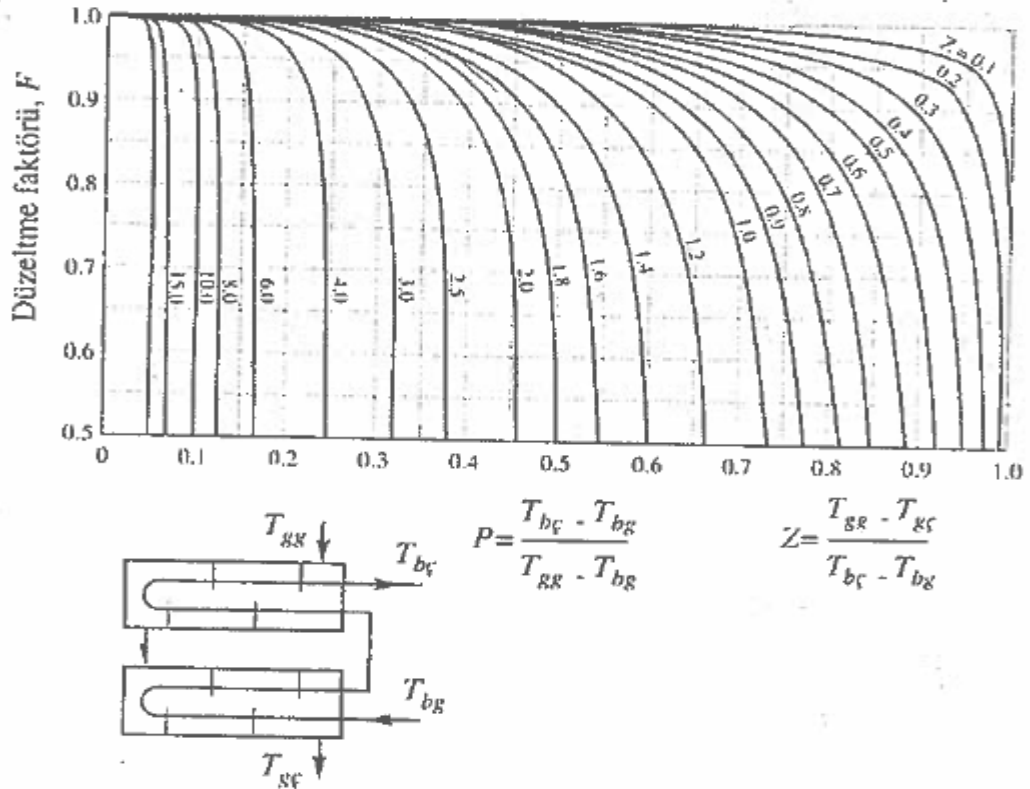
Çok geçişli ve ters akımlı ısı değiştiricilerinde logaritmik ortalama sıcaklık farkının hesabı oldukça karmaşıktır. Paralel ve ters akışlı ısı değiştiricileri için verilen ‘‘6.6’’ eşitliği, ters akışlı bir ısı değiştiricisi kabul edilerek, bulunan logaritmik ortalama sıcaklık farkı; bir F düzeltme faktörü ile çarpılmalıdır. Buna göre; çok geçişli ve ters akışlı bir ısı değiştiricisi için ısı transfer oranı, aşağıdaki Şekilde yazılır.

$$Q = U.A.F.\Delta T_m \quad (6.11)$$

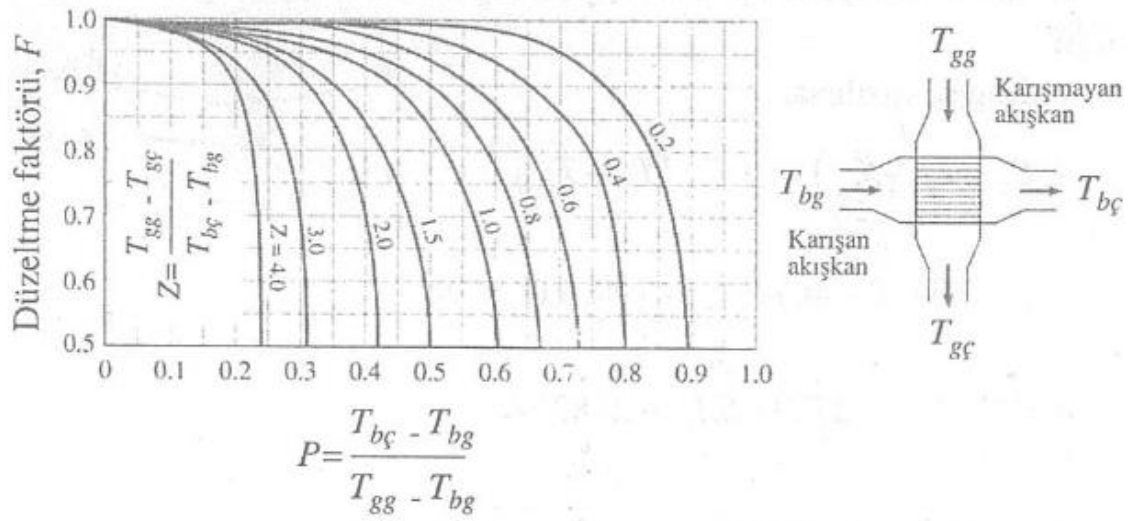
F düzeltme faktörü için birçok matematiksel ifadeler elde edilmiştir. Bu sonuçlar grafik halinde verilmiştir. Pratikte çok karşılaşılan bazı ısı değiştiricilerine ilişkin grafikler Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de verilmiştir (Altınışık, 2003).



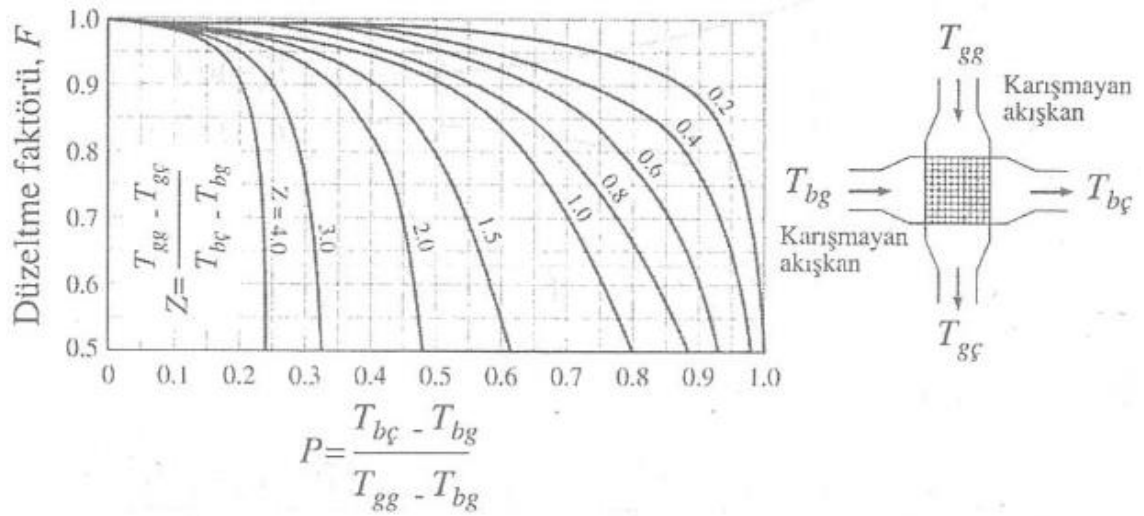
Şekil 6.5. Bir gövde geçişli ve ikinin katları boru geçişli ısı değıştircilerinde düzeltme faktörü.



Şekil 6.6. İki gövde geçişli ve dördün katları ısı değıştircilerinde düzeltme faktörü



Şekil 6.7. Akışkanlardan biri karışan diğeri karışmayan tek geçişli ve çapraz akışlı bir ısı değıştiricisinde düzeltme faktörü.



Şekil 6.8. Her iki akışkanın karışmadığı tek geçişli ve çapraz akışlı bir ısı değıştiricisinde düzeltme faktörü.

7. ATIK ISI PROJESİNİN UYGULANMASI

Bu çalışma Bilecik - Bozüyük'te kurulu bulunan Eczacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ş. firmasında yapılmıştır. 110.000 m² kapalı alanda yıllık 4.000.000 adet parça seramik sağlık gereçleri üretim kapasitesindedir.

Dünyada tek çatı altında bulunan en büyük üretim tesislerinden birine sahip olan Eczacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ş. Vitra markası ile seramik sağlık gereçleri (lavabo, klozet, eviye, duş teknesi vb.) tamamlayıcı ürünler (klozet kapakları, gömme rezervuarlar, yıkama sistemleri, rezervuar iç takımları, vb.) banyo mobilyaları, akrilik küvetler ve duş sistemleri üretmektedir.

Seramik sağlık gereçleri üretimini Bozüyük'te Kurulu bulunan tesislerinde gerçekleştiren şirket aynı zamanda sektöründe ilk ISO50001 Enerji Yönetimi Kalite sistemine sahiptir.

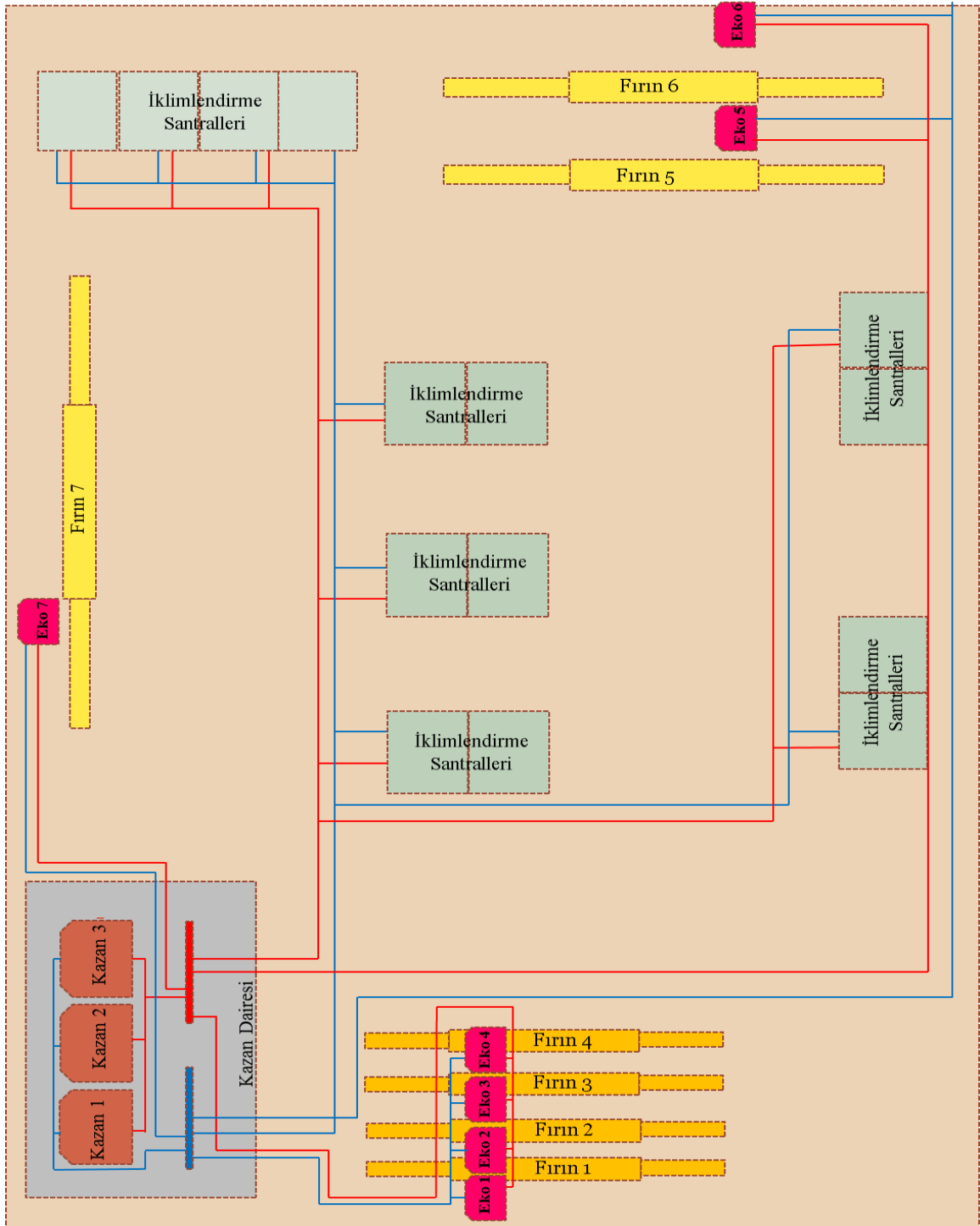
Üretimde enerji tüketiminin büyük kısmını pişirme prosesinde gerçekleştirmekte ve seramik sağlık gereçleri üretiminde pişirme prosesi işlemlerini 7 Adet tünel fırında gerçekleştirmektedir.

Bu çalışmada fırınlardan atılan atık ısıdan faydalanılarak, fırın verilerine göre dizayn edilmiş bir ekonomizer ile sıcak su üretilmesi ve bu suyun klima santrallerine gönderilerek ortamın ısıtılması için çalışılmıştır. Fırın bacalarına ilave edilen ekonomizerler ile kazanların gaz tüketiminin minimuma düşürülmesi ya da kazanlarda tüketimin tamamen sıfırlanması amaç edinilmiştir.

Bu sebeple çalışmanın yapıldığı tesiste mevcut olan 7 adet fırının her bir soğutma atık ısı bacasına gerekli hesaplar yapılarak 4 Adet 417kW, 2 Adet 502kW, 1 Adet 837 kW kapasitede ekonomizer ilave edilmiştir.

Vitrifiye sektöründe daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi dökümü yapılan yarı mamullerin kurutma prosesinden önce işletme ortamında bekletilmeleri ve nem oranının %15-%16 mertebelerine indirilmesi gereklidir. Aynı şekilde dökümde kullanılan alçı kalıpların nem oranları da döküm sonrası su emmelerinden dolayı yüksektir. Bir sonraki döküm için alçı kalıpların da sonraki döküm prosesinin uygun yapılabilmesi için nem oranının düşürülmesi arzu edilir. Bunun için vitrifiye sektöründe klimalar ve hava kanalları vasıtası ile döküm holleri ve kurutma öncesi yarı mamul bekleme alanlarının istenilen sıcaklıklarda ve nem düzeyinde tutulması gereklidir. Bu

hizmeti sağlamak için tez çalışmasının yapıldığı tesiste klimalarda kullanılmak üzere sıcak su üretmek için 3 adet sıcak su kazanı tesis edilmiştir. Sıcak su kazanlarının toplam kapasitesi 17.500.000 kcal/h'tir. İklimlendirme hizmeti için yıllık harcanan doğalgaz miktarı ise 2.850.000 m³ civarındır. Fırınlardan normalde atmosfere atılan bu atık ısı ile klima sistemlerinin ihtiyaç duyduğu sıcak su üretilerek enerji geri kazanımı sağlanacaktır. Şekil 7.1'de tesiste kurulu bulunana 7 adet tünel fırın bacalarına ilave edilen ekonomizerler ve ekonomizerlerden elde edilen sıcak suyun kazan sistemine bağlanması ve klimalara gönderilmesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Atık ısı ekonomizerleri ve atık ısının klimalarda değerlendirilmesi.

7.1 Fırınlara Atık Isı Verileri ve Ekonomizer Hesapları

Aynı fiziksel özelliklere sahip olan dört fırına ait veriler aşağıda Çizelge 7.1’de verilmiştir. Bu verilere göre ekonomizer hesapları yapılarak, imal ettirilmiş ve fırınlara montajları yapılmıştır.

Çizelge 7.1. Fırın 1, 2, 3 ve 4’e ait atık ısı verileri.

Akışkan Özellikleri	Ölçüm
Atık Hava Debisi	6500kg/h
Atık Hava Ekonomizer Giriş Sıcaklığı	350 °C
Atık Hava Ekonomizer Çıkış Sıcaklığı	120 °C
Su Debisi	15m ³ /h
Su Ekonomizer Giriş Sıcaklığı	70 °C
Su Ekonomizer Çıkış Sıcaklığı	95 °C

Tasarımı yapılacak olan ekonomizere ait enerji eşitlikleri yazılacak olursa, eşitlik “6.4” ve “6.5”ten

$$Q = m_c \cdot C_{pc} \cdot \Delta T_c = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h \quad (7.1)$$

enerji eşitliği yazılabilir.

Buradan hava için fırın verileri enerji eşitliğinde yazılırsa;

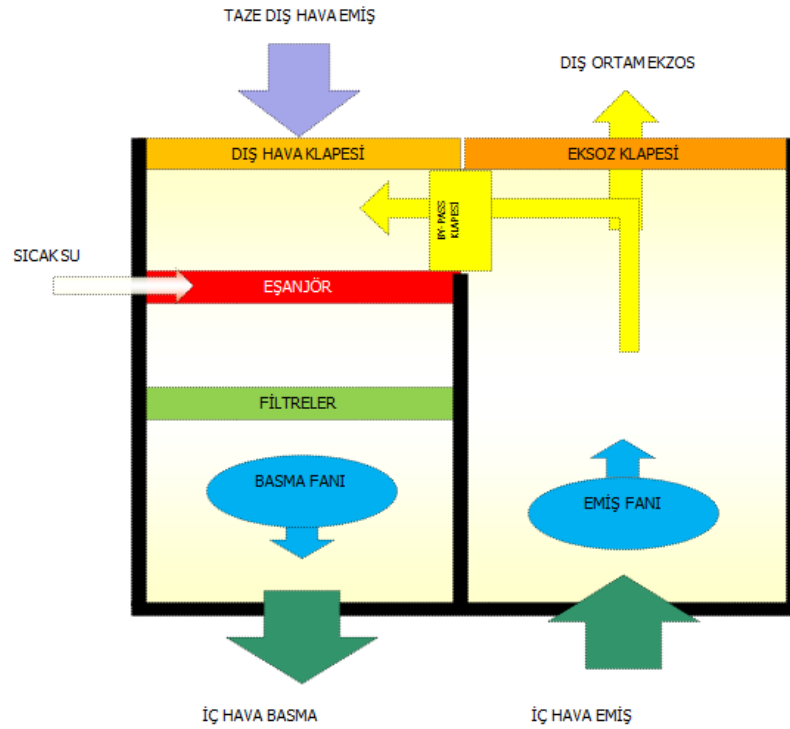
$$Q = 6500 \cdot 0,24 \cdot (350 - 120) = 358.800 \text{ kcal/h} = 417 \text{ kW}$$

Yapılan hesaba göre fırın bacasına 417 kW kapasitede bir ekonomizer dizaynı yapmak gerekmektedir. Sıcak akışkanın ekonomizeri terk etme sıcaklığı ısı değiştirici dizaynında minimum 120 °C olacak şekilde kabul yapılmıştır. Fırın 1,2,3 ve 4’te kullanılan atık ısı bacası yanmış gazlar içermektedir. Yanmış gazlar içinde bulunan sülfür vb malzemeler 120 °C altında yoğuşmaya başladığından çelik yüzeylere asit şeklinde zarar vermektedir. Bu sebeple bu fırınların dizaynında sıcak akışkan son sıcaklık 120 °C olacak şekilde dizayn yapılmıştır.

Projede enerji geri kazanımı için; akışkanlar arasında doğrudan kontak olamayan, borulu kanatlı, iki akışlı tek geçişli ve ters akımlı bir ısı değiştirici dizaynı yapılmıştır. Isı değiştiricide geri kazanılan enerji fabrikanın sıcak su sistemine aktarılmıştır. Fabrikanın sıcak su sistemi 95-70 °C 4 bar'a basınçlandırılan kızgın sudur.

Geri kazanılan enerji, kızgın su olarak üretim prosesinde kullanılan iklimlendirme santrallerinde kullanılacaktır. Üretim esnasında yarı mamüllerin kontrollü bir şekilde kuruması için, iklimlendirme santralleri vasıtası ile dökümhaneler 30-35 °C sıcaklık aralığında ve %45-65 bağıl nem seviyesinde tutulur. Çıkan ürünlerin çok hızlı kurumaması için kalıplar açıldığında sıcaklık 30°C ve ortamın bağıl nemi %60-65 seviyelerinde tutularak yavaş bir kuruma sağlanır. Hızlı kuruma olması durumunda ise kuruma esnasında yüzey gerilimlerinden dolayı yüksek fire oranları ile çalışmak gerekmektedir.

Yarı mamüller dökümhane kısmını terkettikten sonra bir sonraki döküm için alçı kalıpların tamamen kuruması gerekir, bunun için sıcaklık 32-35 °C'ye çıkarılırken, nem %50 seviyelerine indirilerek alçı kalıpların sonraki döküm işleme kadar tamamen kuruması sağlanır. Ayrıca dökümhanelerde iklimlendirme sistemi kullanılması ile alçı kalıp tezgahlarında nem ve sıcaklık kontrolü sayesinde çift döküm yapabilme imkanı olur. Bir dökümhanede kullanılan iklimlendirme santralinin kanal yapısı Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2 İklimlendirme Santralinin Kanal Yapısı

Çalışmanın yapıldığı tesiste dökümhaneler için 14 Adet iklimlendirme sistemi kullanılmaktadır. Projeden elde edilecek atık ısı bu santrallerde tüketilecektir. Santraller için proje öncesi harcanan doğalgaz miktarı yaklaşık olarak $2.850.000\text{m}^3/\text{yıl}$ 'dır.

Yine 7.1 enerji eşitliğinden ekonomizerde ısıtılacak olan suyun debisi için ise;

$$Q = 358.800 = m_c \cdot C_{pc} \cdot \Delta T_c = m \cdot 1 \cdot (95-70)$$

eşitliği yazılarak, ekonomizere gönderilmesi gereken su miktarı $m = 14.352 \text{ kg/h}$ olarak bulunmuştur. Ekonomizer su devir daimi için $15 \text{ m}^3/\text{h}$ kapasitede bir santrifüj pompa seçilerek su sirkülasyonu sağlanacaktır.

Ekonomizerin dizaynı için ise Bölüm 6'da açıklanmış olan aşağıdaki eşitlikle ekonomizerin ısı geçişi için gerekli olan ısı geçiş alanı hesaplanarak ekonomizerler imal ettirilecektir.

$$Q = U \cdot F \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (7.2)$$

İşletmede bulunan 7 adet tünel fırın için ayrı ayrı ekonomizer tasarımları yapılmıştır. 1.,2.,3.,4. Fırınlara birbiri ile aynı tipte olup bu fırınlar için 417kW kapasitede ekonomizer tasarımı yapılmıştır. Ekonomizer etiket bilgileri Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Fırın 1-2-3-4 Ekonomizerleri Etiket Bilgileri

FIRIN 1-2-3-4 EKONOMİZER			
Kapasite	417 kW	Su Giriş Sıcaklığı	70 °C
Gaz Giriş Sıcaklığı	350 °C	Su Çıkış Sıcaklığı	95 °C
Gaz Çıkış Sıcaklığı	120 °C	Sıcak Su Kapasite	15 ton/h

İlk 4 adet fırına montajı yapılmış olan ekonomizerlerin resimleri Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te görülebilir. Ekonomizerler 43 mm çapında ısı kanatlı borulardan imal edilmiştir. Bu ilk 4 fırın eski tip fırınlar olup ekonomizerler yakma havası bacasına montajı yapılmıştır. Yakma havasına konulan ekonomizerlerin dizaynı gaz çıkış sıcaklığı 120 °C olacak şekilde dizayn edilmiştir. Daha düşük çıkış sıcaklıklarında yanmadan ve seramik buharından gelen ürünler ekonomizer içinde yoğunlaşarak ekonomizerin zarar görmesine neden olmaktadır.

**Şekil 7.3.** Ekonomizer yandan görünüşü.**Şekil 7.4.** Ekonomizer kanal içindeki ısı değiştirici borular.



Şekil 7.5. Ekonomizer montajından sonraki görünüm.

Diğer fırınların atık ısı verileri de Çizelge 7.3 ve Çizelge 7.4'te verilmiştir. Fırın 5-6 birbiriyle aynı değerlere sahip ve aynı tiptedir. Fırın 7 ise Fırın 5-6 dan daha büyük kapasitelidir.

Çizelge 7.3. Fırın 5 ve 6 atık ısı verileri.

Akışkan Özellikleri	Ölçüm
Atık Hava Debisi	12000kg/h
Atık Hava Ekonomizer Giriş Sıcaklığı	250 °C
Atık Hava Ekonomizer Çıkış Sıcaklığı	100 °C
Su Debisi	18m ³ /h
Su Ekonomizer Giriş Sıcaklığı	70 °C
Su Ekonomizer Çıkış Sıcaklığı	95 °C

Çizelge 7.4. Fırın 7 atık ısı verileri.

Akışkan Özellikleri	Ölçüm
Atık Hava Debisi	19.000kg/h
Atık Hava Ekonomizer Giriş Sıcaklığı	250 °C
Atık Hava Ekonomizer Çıkış Sıcaklığı	100 °C
Su Debisi	25m ³ /h
Su Ekonomizer Giriş Sıcaklığı	70 °C
Su Ekonomizer Çıkış Sıcaklığı	95 °C

Fırın 5, Fırın 6 ve Fırın 7 için de hesaplar yapılarak, ekonomizer dizaynları aynı şekilde yapılarak, fırın baca çıkışlarına montajları yapılmıştır.

Fırın 5 ve 6 için atık hava verilerine göre;

$$Q = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h = 12000 \times 0,24 \times (250 - 100) = 432.000 \text{ kcal} / h = 502 \text{ kW}$$

Fırın 7 için ise;

$$Q = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h = 20000 \times 0,24 \times (258 - 100) = 720.000 \text{ kcal} / h = 837 \text{ kW}$$

502kW ve 837kW kapistede dizayn edilmiş 3 adet ekonomizerler fırın baca çıkışlarına monte edilmiştir. Fırın 5-6 ve Fırın 7'ye ait ekonomizerlerin etiket bilgileri ise Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6'da aşağıda gösterilmiştir. Bu 3 fırın için ekonomizerler soğutma bacasına konulmuştur. Soğutma bacaları kirli ve yanmış hava içermediğinden atık gaz sıcaklığı mümkün olduğunca düşürülmeye çalışılmıştır.

Çizelge 7.5. Fırın 5 ve 6 Ekonomizerleri etiket bilgileri.

Fırın 5-6 Ekonomizer Bilgileri			
Kapasite	502 kW	Su Giriş Sıcaklığı	70 °C
Gaz Giriş Sıcaklığı	250 °C	Su Çıkış Sıcaklığı	95 °C
Gaz Çıkış Sıcaklığı	100 °C	Sıcak Su Kapasite	18 ton/h

Çizelge 7.6. Fırın 7 Ekonomizeri etiket bilgileri

Fırın 7 Ekonomizer Bilgileri			
Kapasite	837 kW	Su Giriş Sıcaklığı	70 °C
Gaz Giriş Sıcaklığı	250 °C	Su Çıkış Sıcaklığı	95 °C
Gaz Çıkış Sıcaklığı	100 °C	Sıcak Su Kapasite	25 ton/h

Yedi adet fırın atık ısı bacalarına montajı yapılan ekonomizerlerden sonra gerçekleşen toplam ısı geri kazanım miktarı aşağıdaki Çizelge 7.7'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.7. Proje sonrası gerçekleştirilen toplam ısı geri kazanım miktarı.

Ekonomizer	Kapasitesi
Fırın 1 Atık Isı Ekonomizeri	417 kW
Fırın 2 Atık Isı Ekonomizeri	417 kW
Fırın 3 Atık Isı Ekonomizeri	417 kW
Fırın 4 Atık Isı Ekonomizeri	417 kW
Fırın 5 Atık Isı Ekonomizeri	502 kW
Fırın 6 Atık Isı Ekonomizeri	502 kW
Fırın 7 Atık Isı Ekonomizeri	837 kW
TOPLAM	3509 kW

Aşağıdaki resimlerde proje sonrası fırın baca çıkışına montajı yapılmış olan bazı ekonomizerlerin resimleri görülebilir.



Şekil 7.6. Fırın 5 atık ısı ekonomizeri



Şekil 7.7. Fırın 6 atık ısı ekonomizeri.



Şekil 7.8. Fırın 7 atık ısı ekonomizeri montajı.

7.2. Ekonomizerlerin Devreye Alınması Sonrası Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması

Toplam 3509 kW değerindeki 7 adet ekonomizerin fırın bacalarına montajından sonra fabrika kapalı alanlarının ısıtılması için kullanılan klimalarda kullanılan sıcak su ihtiyacı ekonomizerler vasıtası ile üretilmeye başlanmıştır. Proje öncesi işletmenin ihtiyaç duyduğu sıcak su, sıcak su kazanlarında üretilmekteydi. Proje sonrası yoğun gaz tüketen sıcak su kazanlarının çalışmasına gerek kalmamıştır ve faal durumdaki 3 Adet kazanın 2 tanesi devre dışı bırakılmıştır. Çalışmaya devam eden kazan ise sisteme destek olması için devrede bırakılmıştır. Çok soğuk havalarda ekonomizerlerden alınan atık ısının yeterli olmadığı durumlarda devreye girmektedir.

Aşağıdaki çizelgede ekonomizer yatırımının olmadığı bir yıldaki kazanların yıllık gaz tüketim miktarları aylara göre gösterilmiştir.

Çizelge 7.8. Kazan gaz tüketim miktarları 2011 (ekonomizersiz durum)

Aylar	Tüketim (m ³)
Ocak	390.032
Şubat	355.612
Mart	325.600
Nisan	305.200
Mayıs	275.414
Haziran	120.215
Temmuz	40.219
Ağustos	25.512
Eylül	50.218
Ekim	125.625
Kasım	326.218
Aralık	384.689
Toplam	2.724.554

İşletme ortamının iklimlendirmesi için harcanan bu enerji tesisin toplam doğalgaz tüketiminin %12'si civarındadır. Ekonomizer montajı sonrası bu tüketim büyük oranda düşürülmüştür. Aşağıdaki çizelgede ise ekonomizer montajı sonrası tüketimlerde meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Ekonomizer montajları 2011 Aralık ayı sonunda tamamlanarak 2012 yılında kazan dairesi tüketimlerinin karşılaştırılması Çizelge7.9'da verilmiştir.

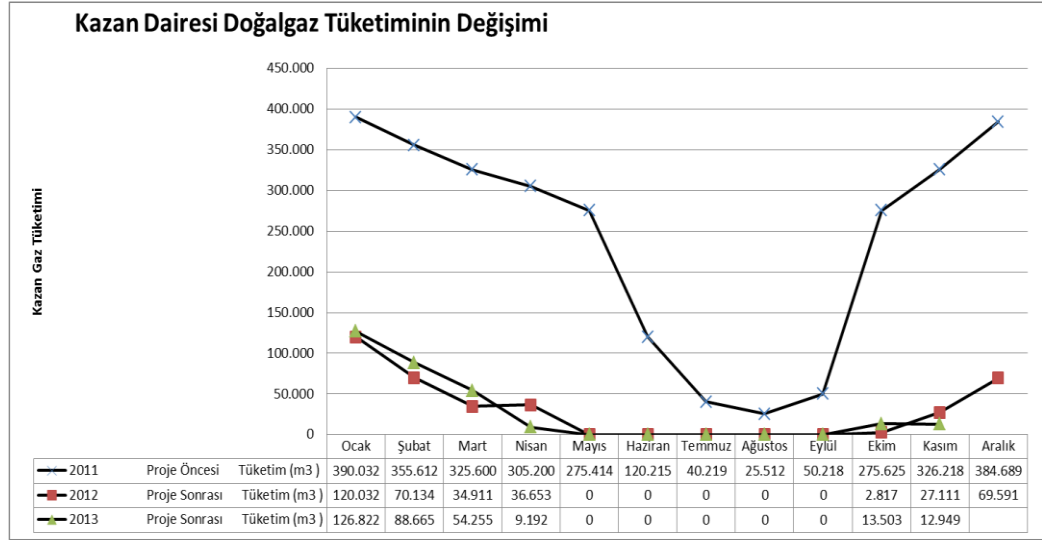
Çizelge 7.9 Ekonomizerli ve ekonomizersiz durumda gaz tüketiminin değişimi.

Aylar	2011 Proje Öncesi Tüketim (m ³)	2012 Proje Sonrası Tüketim (m ³)	2013 Proje Sonrası Tüketim (m ³)	Yatırım Sonrası Tasarruf Miktarı (m ³)
Ocak	390.032	120.032	126.822	270.000
Şubat	355.612	70.134	88.665	285.478
Mart	325.600	34.911	54.255	290.689
Nisan	305.200	36.653	9.192	268.547
Mayıs	275.414	0	0	275.414
Haziran	120.215	0	0	120.215
Temmuz	40.219	0	0	40.219
Ağustos	25.512	0	0	25.512
Eylül	50.218	0	0	50.218
Ekim	275.625	2.817	13.503	272.808
Kasım	326.218	27.111	12.949	299.107
Aralık	384.689	69.591	*	315.098
Toplam	2.874.554	361.249	292.437	2.513.305

*2013 Aralık ayı için ölçüm yapılmamıştır.

Çizelge 7.9'da görüldüğü üzere fırın atık ısılarının kazan yerine kullanılmaya başlamasıyla yıllık 2.513.305 m³ doğalgaz tasarrufu sağlanmıştır. İşletmedeki 7 Adet fırını atık ısılarının değerlendirilmesiyle kazanılan toplam atık ısı miktarı 3506 kW' tır. Çizelge 7.9'ya göre hesap edilen bu miktar tasarruf olarak gerçekleşmiştir. Yine Çizelge 7.9'da Nisan ayında tüketimin tamamen sıfırlandığı ve 3506kW değerindeki geri kazanımın yaz aylarında fazla geleceği rahatlıkla görülebilir. Yaz aylarında ekonomizerlerin ihtiyaca göre devre dışı bırakılması gerekecektir.

Çizelge 7.8'e göre işletmenin sıcak su için enerji ihtiyacı incelendiğinde, 7 aylık süre zarfında geri kazanılan enerji aylık 275.000 m³ civarı doğalgaz olacak ve geri kalan daha sıcak aylardaki tüketimler tamamen sıfıra düşecektir. Bu durumda sıcak aylarda geri kazanılan enerji fazla geleceğinden ekonomizerler işletme şartlarına göre sırayla devre dışı bırakılacaktır. Proje sonucu tüketimde oluşan değişimi gösteren grafik Şekil7.9'da yatırım sonrası kazan dairesindeki doğalgaz tüketiminin değişimi gösterilmiştir.



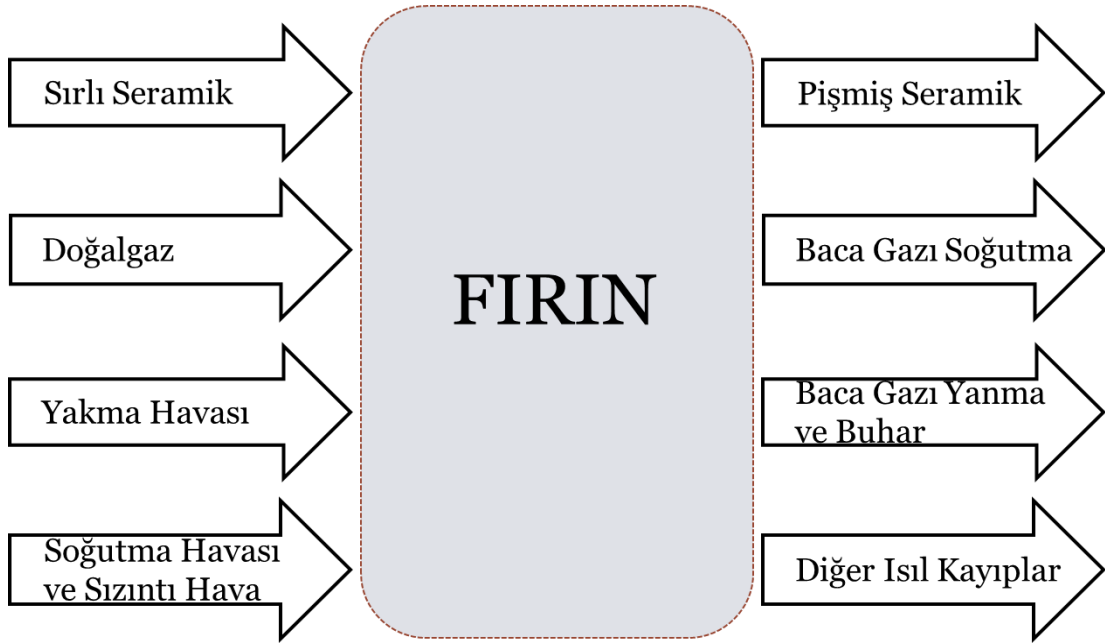
Şekil 7.9. Ekonomizer sonrası doğalgaz tüketiminin değişimi

7.3. Proje Öncesi ve Sonrası Fırın Enerji Denkliği ve Fırının Isıl Verimi

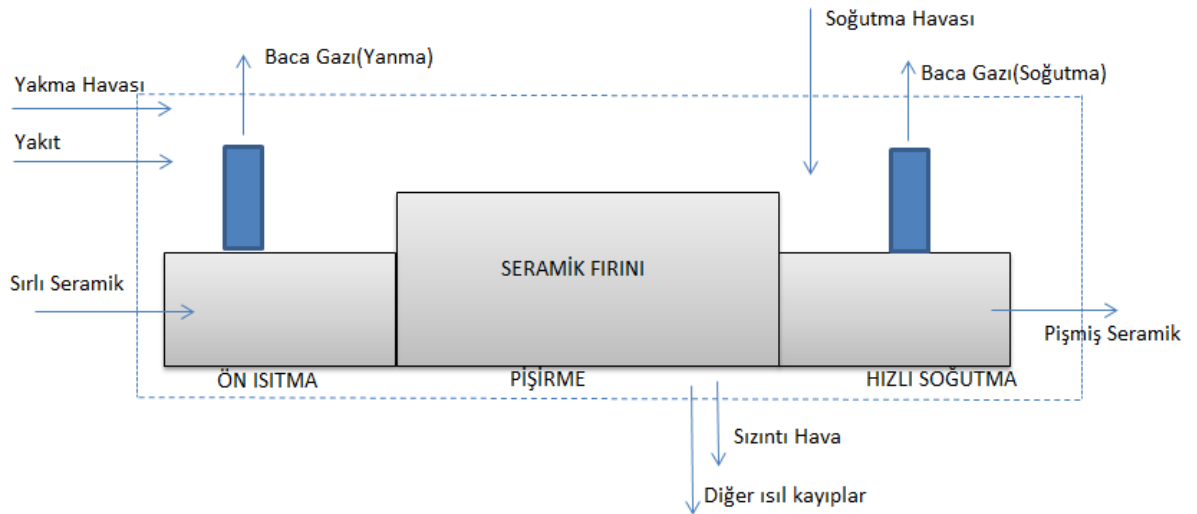
Burada fırına giren ve çıkan maddeler arasındaki enerji denge analizi yapılmıştır. Fırında, sisteme sızdıran seramik, doğalgaz, yakma havası, sızıntı hava ve soğutucu hava girerken, çıkan maddeler ise pişmiş seramik, yanma ve soğutma baca gazları ve fırın yüzeylerinden, diğer sıcak yüzeylerden, fırın arabalarında meydana gelen toplam ısı kayıplardır. Fırına giren ve çıkan kütleler Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Fırın için kütle ve enerji denklikleri işletmenin 6 nolu fırını için yapılarak, burada anlatılmıştır.

Şekil 7.11'de ise fırının yandan görünüşü olarak kesit resimde giren ve çıkan kütleler bir kontrol hacmi dahilinde fırın kısımlarına göre gösterilmiştir.

Fırında yarı mamul ürün 1250 °C sıcaklığa kadar pişirilerek mamul madde olan seramik meydana gelir. Baca gazları ise, seramiğin yanmadan gelen ve soğutma havanın çıkış hali olarak incelenmiştir. Fırında 1250 °C sıcaklığa kadar pişirilen ürün soğutma bölgesinde hızlı bir şekilde dışarıdan alınan soğuk hava ile ısıtılarak fırını terk etmektedir.



Şekil 7.10. Fırın kütle akış diyagramı.



Şekil 7.11. Seramik fırını kütle denliği şematik gösterimi.

Enerji kelimesi, değişikliklere yol açan etken olarak tanımlanabilir. Çevremizdeki birçok olayın gerçekleşmesine neden olan, kullanıldığında bir şekilden başka bir şekle dönüşen iş yapma yeteneğidir. Enerji, dünyamızda değişik şekillerde bulunabilmektedir. Kimyasal, elektrik, ısı, ışık, mekanik, nükleer, vb. bunlardan bazılarıdır. Sürekli akış halindeki açık bir sistem için kontrol hacmindeki (KH) termodinamiğin birinci yasasının sözle ve matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki şekilde yapılabilir.

$$\boxed{\text{Birim Zamanda Isı veya İş Olarak Sınırları Geçen Toplam Enerji}} = \boxed{\text{Birim Zamanda Kütle İle Birlikte Kontrol Hacminden Çıkan Toplam Enerji}} - \boxed{\text{Birim Zamanda Kütle İle Birlikte Kontrol Hacmine Giren Toplam Enerji}}$$

Fırın 6 için yapılmış olan analizde Çizelge 7.10'de fırına giren ve çıkan kütlelerin miktarları verilmiştir. Fırın kütle ve enerji denkleği için ölçümler 01.09.2013 ve 10.09.2013 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu tarihlerde yapılan ölçümlerin ortalama değerleri alınarak kütle ve enerji denkleği hesaplarında kullanılmıştır. Ölçüm için Testo marka Testo 340 baca gazı analizörü, fırın girişi Krom Schroder marka mekanik doğalgaz sayacı, çubuk tip Meter Elektronik marka sıcaklık probu kullanılmıştır. Ürün giriş ve çıkış ağırlıkları çeşitli miktarlarda tartımlar yapılarak ortalama değerleri alınmıştır.

Fırın kütle analizi için;

$$m_{\text{giren}} = m_{\text{çıkan}}$$

$$m_{\text{sırlı seramik}} + m_{\text{doğalgaz}} + m_{\text{yakma havası}} + m_{\text{soğutma havası}} + m_{\text{sızıntı hava}} =$$

$$+ m_{\text{pişmiş seramik}} + m_{\text{Bacagazı(Buhar)}} + m_{\text{Bacagazı(Yanma)}} + m_{\text{Bacagazı(Soğutma)}}$$

Çizelge 7.10. Fırına giren ve çıkan kütleler ve özellikleri

Fırına Giren ve Çıkan Kütlelerin Ölçüm Sonuçları			
Sıra	Kütle Tanımı	Miktar	Birimi
1	Giren Sırlı Seramik	2590	kg/h
2	Çıkan Pişmiş Seramik	2150	kg/h
3	Seramik Giriş Sıcaklığı	293	°K
4	Pişmiş Seramik Çıkış Sıcaklığı	323	°K
5	Yakma Havası Giriş Sıcaklığı	293	°K
6	Yanma Havası Baca Çıkış Sıcaklığı	453	°K
7	Doğalgaz Giriş Sıcaklığı	288	°K
8	Doğalgaz Debisi	390	m ³ /h
9	Yakma Havası Debisi	6238	kg/h
10	Soğutma Havası Debisi	8550	kg/h
11	Soğutma Havası Çıkış Sıcaklığı	531	°K
12	Sızıntı Hava Debisi	3450	kg/h
13	Soğutma Havası Baca Gazı Debisi	12000	kg/h
14	Yakıt Alt Isıl Değeri (Doğalgaz)	8250	Kcal/m ³

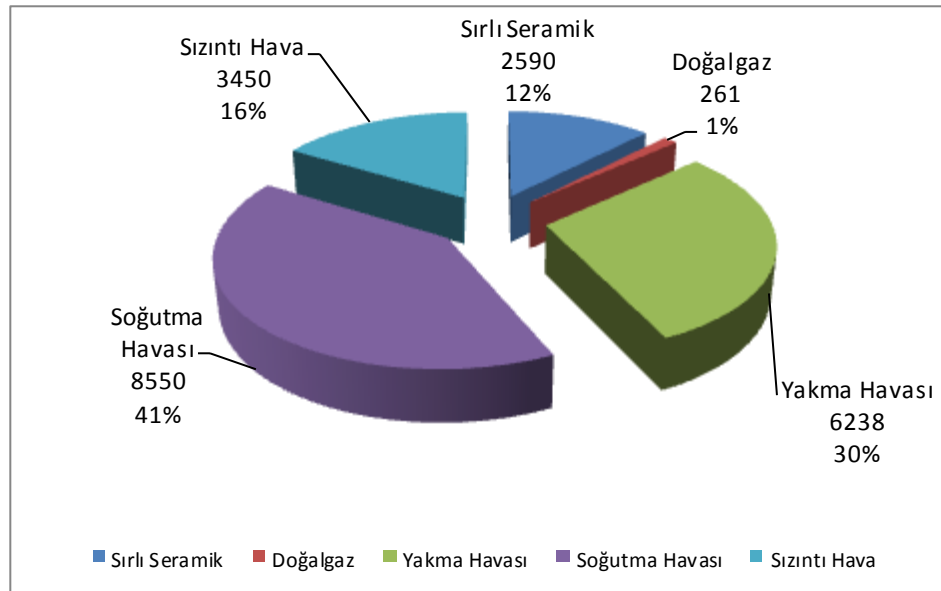
Eşitliği yazılabilir. Çizelge 7.11'de fırına giren ve çıkan kütleler için kütle denkleği yazılmıştır. Fırına sırlanmış seramik, doğalgaz, yakma havası, soğutma havası ve sızıntı

hava girerken, pişmiş seramik, baca gazı(buhar), baca gazı(yanma), baca gazı soğutma çıkmaktadır. Seramik pişirilirken seramiğin bünyesinden çıkan nem buharı ve sır buharı yanma gazları ile beraber dışarı atılmaktadır. Pişirme sonrası hızlı soğutma için fırın içine soğuk hava basılır, aynı hava yine bir fan yardımı ile dışarı atılır, bu esnada fırın içinden emilen hava ile birlikte bir miktar hava da fırın açık yerlerinden içine girmektedir. Bu fırın açıklıklarından giren hava ise sızıntı hava olarak hesaplara dahil edilmiştir.

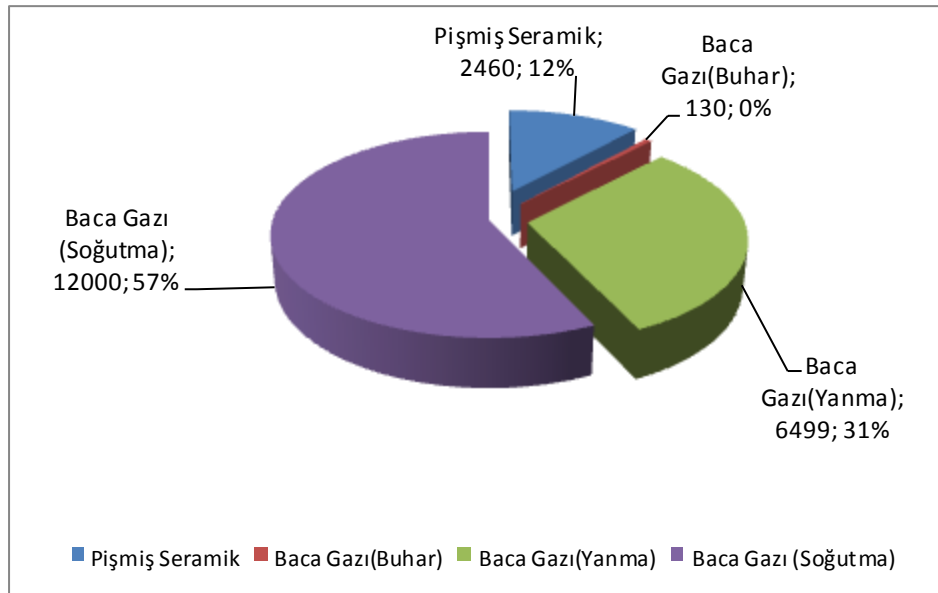
Çizelge 7.11. Fırına giren ve çıkan maddelerin kütesel analizi.

Sıra	Giren Kütle	Sıcaklık (°K)	Debi (kg/h)	Sıra	Çıkan Kütle	Sıcaklık (°K)	Debi (kg/h)
1	Sırlı Seramik	300	2.590	1	Pişmiş Seramik	313	2.460
2	Doğalgaz	288	261	2	Baca Gazı(Buhar)	453	130
3	Yakma Havası	293	6.238	3	Baca Gazı(Yanma)	453	6.499
4	Soğutma Havası	298	8.550	4	Baca Gazı (Soğutma)	531	12.000
5	Sızıntı Hava	314	3.450				
	TOPLAM		21.089		TOPLAM		21.089

Ölçümler sonucunda sırlı seramik pişme esnasında üzerindeki sır ve nem buharlaşarak ağırlığının % 5'ini buhar olarak kaybetmektedir. Bu değer çıkan kütlelerde Baca Gazı(buhar) olarak verilmiştir. Fırına giren ve çıkan kütlelerin yüzdesel analizleri Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'de gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Fırına giren kütlelerin yüzdesel analizi.



Şekil 7.13. Fırından çıkan kütlelerin yüzdesel analizi.

Fırın enerji denkliği için; Hesaplamalarda baca gazları, mükemmel gaz olarak kabul edilmiştir. Baca gazlarını oluşturan her bir bileşenin ilgili “T” sıcaklığındaki (Cp) ısı kapasite değeri belirlenerek entalpi değerlerine ulaşılmış ve tüm elementlerin entalpi değer toplamlarından yararlanarak bileşiğin sahip olduğu toplam entalpi değeri bulunmuştur. Fırının çalışması esnasında tükettiği elektrik enerjisi 290 kW/h olup bu elektrik enerjisi hesaplamalarda ısıya dönüşen enerji olarak denkliğe dahil edilmiştir. Fırına giren ve çıkan enerji miktarları Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.13’da gösterilmiştir.

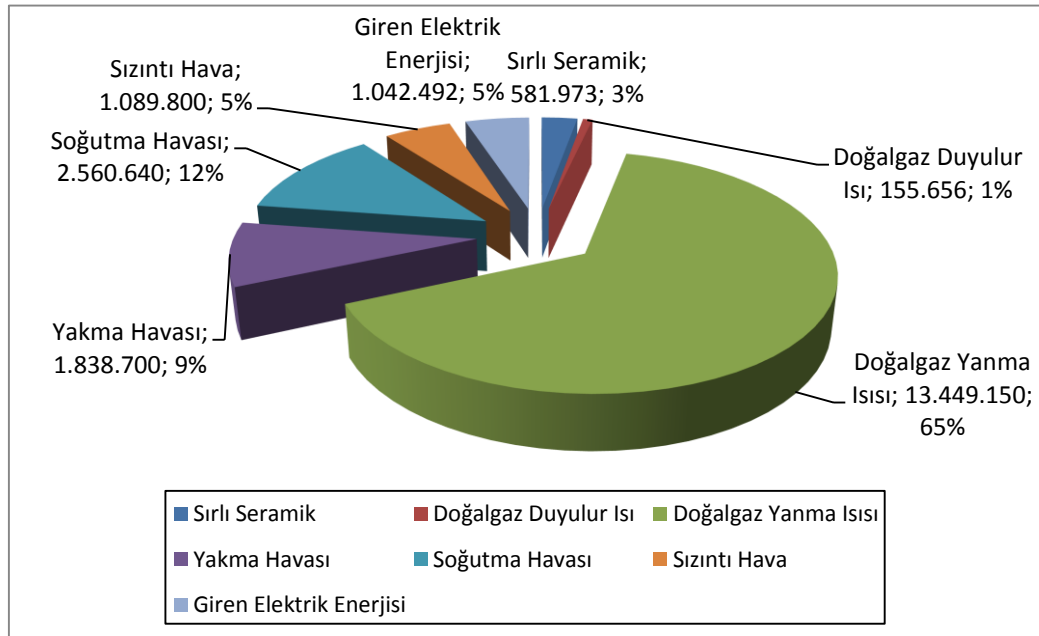
Çizelge 7.12. Fırına giren maddelerin enerji değeri.

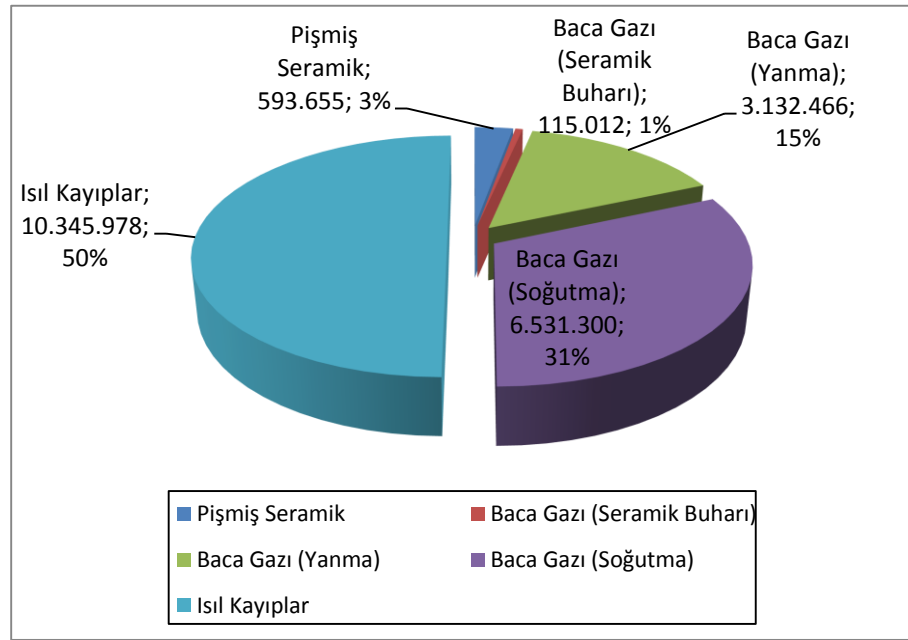
Sıra	Giren Kütleler	Debi (kg/h)	Cp (Kj/kg K)	Sıcaklık (°K)	Q (kj/h)
1	Sırlı Seramik	2590	0,749	300	581.973
2	Doğalgaz Duyulur Isı	261	2,285	288	171.759
3	Doğalgaz Yanma Isısı	$Q=m.Ho = 390 \times 8250 \times (4,18)$			13.449.150
4	Yakma Havası	6238	1,006	293	1.838.700
5	Soğutma Havası	8550	1,005	298	2.560.640
6	Sızıntı Hava	3450	1,006	314	1.089.800
7	Giren Elektrik Enerjisi	290kW/h			1.042.492
				TOPLAM	20.734.514

Çizelge 7.13. Fırından çıkan maddelerin enerji değeri

Sıra	Çıkan Kütleler	Debi (kg/h)	Cp (Kj/kg K)	Sıcaklık (°K)	Q (kj/h)
1	Pişmiş Seramik	2460	0,771	313	593.655
2	Baca Gazı (Seramik Buharı)	130	1,953	453	115.012
3	Baca Gazı (Yanma)	6499	1,064	453	3.132.466
4	Baca Gazı (Soğutma)	12000	1,025	531	6.531.300
5	Isıl Kayıplar				10.362.081
				TOPLAM	20.734.514

Analiz sonucunda görülen ısı kayıplar tüm fırın sıcak yüzeylerinden ve fırın arabaları ile kaybolan enerjiyi tarif etmektedir. Giren ve çıkan maddelerin yukarıdaki çizelgelerde belirlenmiş olan dağılımları Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'te gösterilmiştir.

**Şekil 7.14.** Fırına giren maddelerin enerji değerleri dağılımı.



Şekil 7.15 Fırından çıkan maddelerin enerji dağılımı.

Fırının enerji verimliliği için ise kayıpların düştüğü çıkan toplam enerji değerinin, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumda verim ifadesi;

$$\varphi = \frac{\sum Q_{\text{Çıkan}} - Q_{\text{Kayıp}}}{Q_{\text{Giren}}} \quad (7.9)$$

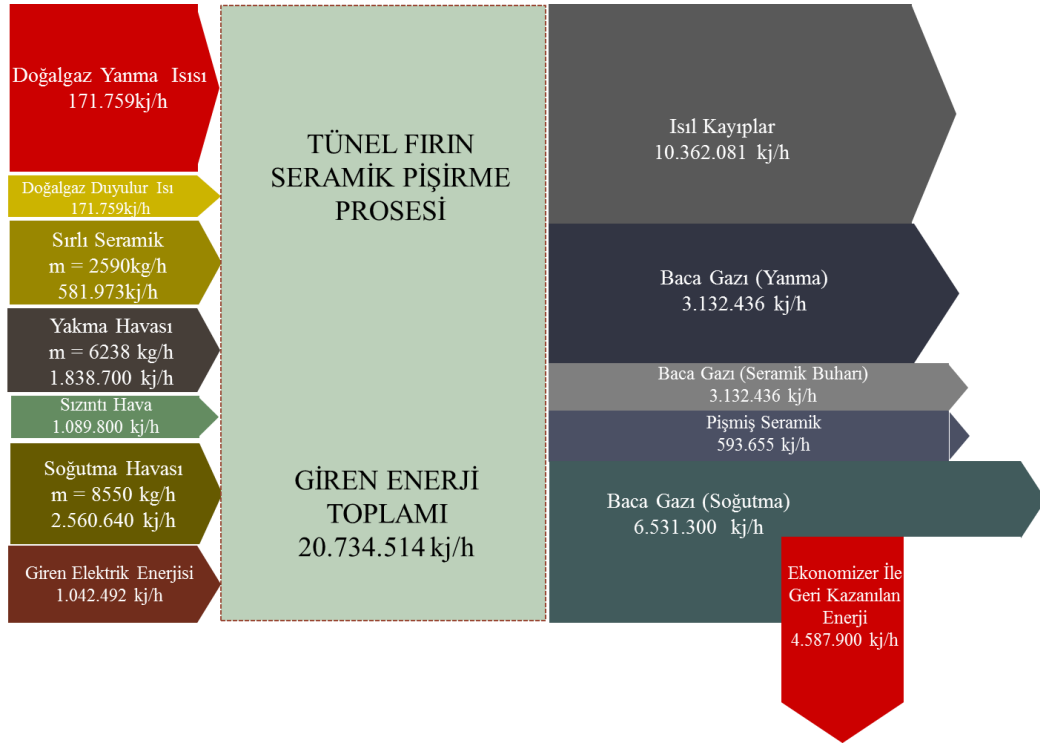
Şeklinde yazabiliriz. Buradan;

$$\varphi = \frac{20.734.514 - 10.362.081}{20.734.514} = 0,50$$

Fırının ısı verimi %50 olarak hesaplanır.

Ekonomizer yatırımı sonrası, projeden geri kazanılan enerji fırın üzerinde kullanılmadığından, fırın ısı veriminde bir değişme olmaması beklenen bir durumdur. Fırınlardan geri kazanılan enerji tesisin iklimlendirme sistemlerinde kullanıldığından dolayı fırınların tüketimlerine bir etkisi yoktur. Fırın atık ısılarının fırın verimliliğini artırılması, fırın gaz tüketiminin azaltılması için kullanılabilir. Ancak enerji verimliliği çalışmalarında proje seçiminde fayda maliyet analizleri en önemli kriterlerdendir. Projede fırın atık ısılarının fırın yakma havasının ön ısıtılması için kullanılması düşünüldüğünde yatırımın geri dönüş süresi, iklimlendirme sisteminde kullanılmasına göre çok uzun çıktığı için atık ısının fırın dışında değerlendirilmesi

tercih edilmiştir. Fırın yakma havasının ön ısıtılması tercihinde yatırım süresinin uzun olmasına neden olan en önemli sebep fırın üzerindeki brülörlerin sıcak havaya uygun olmamasıydı. Tüm brülörlerin değiştirilmesi gerektiğinden, yatırım geri dönüş süresi daha kısa olan fırın dışında değerlendirilme seçeneği tercih edilmiştir.



Şekil. 7.16. Fırının enerji akış diyagramı

Şekil 7.16'da fırının enerji akış diyagramı gösterilmiştir. Fırından atılan enerjilerden baca gazı(soğutma) bacasında bu çalışmada enerji geri kazanımı sağlanmıştır. Diyagramdan da görüleceği gibi geri kazanılan enerji, fırında kullanılmadığından, fırın ısı verimini etkilememektedir. Geri kazanılan enerji işletmenin diğer kısımlarından kullanılmıştır. Diğer taraftan bu fırında baca gazı(yanma) bacasında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu bacada da aynı şekilde enerji geri kazanım yapılabilir. Fırın ısı kayıplarının en büyüğü toplam ısı kayıplardır. Bunlar fırın açıklıklarından, fırın yüzeylerinden, fırına bağlı ekipmanlardan ve fırın arabaları nedeniyle oluşan ısı kayıplardır. Isıl kayıpların minimumda tutulması için gerekli tasarımlar fırın üreticileri tarafından yapılmıştır. Bu ısı kayıplar ekonomik olarak geri kazanımı mümkün olmayan ısı kayıplardır.

7.4 Yatırımın Geri Dönüş Süresi

Projede kurulumu yapılan 7 Adet ekonomizerin toplam maliyeti ve yıllık kazancı Çizelge 7.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.14. Ekonomizerlerin yatırım tutarları.

	Kapasite (kW)	Yatırım Tutarı (TL)	Toplam Tasarruf Miktarı (m ³)
Fırın 1 Atık Isı Ekonomizeri	417	120.000	2.513.000m ³ Doğalgaz
Fırın 2 Atık Isı Ekonomizeri	417	120.000	
Fırın 3 Atık Isı Ekonomizeri	417	120.000	
Fırın 4 Atık Isı Ekonomizeri	417	120.000	
Fırın 5 Atık Isı Ekonomizeri	502	225.000	
Fırın 6 Atık Isı Ekonomizeri	502	225.000	
Fırın 7 Atık Isı Ekonomizeri	837	375.000	

Toplam Yatırım Tutarı (TL) :	1.305.000
Toplam Tasarruf Tutarı (TL/Yıl) :	1.884.750
Yatırımın Geri Dönüş Süresi (Yıl)	0,69

Yatırımın geri dönüş süresi 8,3 Ay’dır. Doğalgaz birim fiyatı 0,75 TL/m³ alınmıştır. Yatırım geri dönüş süresinin hesaplanmasında faiz ve diğer finansal giderler ihmal edilmiştir.

8. SONUÇ

Bir tesiste atık ısıdan faydalanılması düşünülüyorsa öncelikli olarak atık ısının kullanım yerinin tespit edilmesi ve ne kadar verimli olacağı detaylı bir şekilde analiz edilmelidir. Geri kazanılan enerjinin uygun kullanım alanının olmaması ya da verimsiz olması yatırımın geri dönüş süresinin uzamasına ve şirket yönetimlerinin ısı geri kazanım konusuna şüpheyle yaklaşmasına neden olacaktır. Atık ısı kullanımına karar verildikten sonra hangi tip ısı değiştiricinin kullanılması gerektiği araştırılmalı ve uygulanmalıdır. Hangi tip ısı değiştirici kullanılacağı belirlendikten sonra ısı geçiş miktarları ve cihaz boyutları hesaplanmalıdır. Bu aşamadan sonra maliyet ve fayda analizleri yapılarak sistemin geri dönüş süresi hesaplanmalı faydaları ve kazançları ile beraber finansal kararlara yol göstermelidir.

Atık sıcak hava ve yanmış gazlar içeren bir ısı geri kazanım prosesinde en önemli konulardan biri de sıcak havanın yoğuşması ve ısı değiştirici yüzeylerinde yoğuşan materyallerin asitlerin ısı değiştirici yüzeylerine zarar vermesidir. Isı değiştirici tasarlanırken ısı değiştirici yakma havası çıkış hattına koyulacaksa, sıcak havanın ısı değiştiriciyi terk etme sıcaklığının 120°C altına düşmeyecek şekilde tasarımın yapılması ekipman verimliliği ve ömrü açısından çok önemlidir.

Çalışmada işletmede bulunan 7 Adet seramik tünel fırının baca gazlarından toplam 3.509 kW/h'lik enerji geri kazanımı yapılmıştır. Proje sonucunda yıllık doğalgaz tasarrufu 2.513.305m³ e ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlar seramik sağlık gereçleri sektöründe fırınlardan atılan atık ısının ne kadar büyük finansal mertebelere ulaştığını göstermektedir. Yapılan uygulamanın geri dönüş süresinin kısa olması özellikle vitrifiye sektöründeki ihtiyaç duyulan sıcak su üretimi için kullanılabilirliği gösterilmiştir. Tüm seramik üreticilerinin fırın atık ısılarının geri kazanılması ile hem finansal faydalar sağlanması hem de ülke enerji güvenirliliği konularında ülkemize ve çevreye önemli katkılar sağlanması önemlidir.

Şekil 7.9'da proje sonrası gerçekleşen doğalgaz tüketimlerine baktığımızda 7 aylık dönemde geri kazanılan enerjinin işletme ihtiyacından fazla olduğu görülmektedir. Buradaki fazla gelen enerji, yine vitrifiye sektöründe ön kurutma işlemleri için kullanılması önerilebilir.

9. KAYNAKLAR

- Acarsoy, A., "Seramik Teknolojisi", *Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları*, İstanbul, 2: 275, 1983.
- Altınışık, K., "Uygulamalarla Isı Transferi", *Nobel Yayın Dağıtım*, İstanbul, 2003.
- Angın, B., "Cam sanayinde geleneksel yakıtlar yerine doğal gaz kullanımının enerji ekonomisi açısından incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 2007.
- Arısoy, A., "Isı Geri Kazanma Sistemleri", *Termas A.Ş. Teknik Yayınları*, 3, İstanbul.
- Arısoy, A., "Duman Gazlarından Isı Geri Kazanımı", *Tesisat Mühendisliği*, 64, 58, 2001
- Atılğan, M., "Vitrifiye ürünlerin endüstride gerçekleştirilme süreçleri ve kişisel öneri", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, İstanbul, 2006.
- Comaklı, K., Yuksel B., "Kazanlarda tersinmezlik analizi", *9. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Kırıkkale, 2006.
- Comaklı, K., Yuksel B., Şahin, B., Karagöz, Ş., "Kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları," *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 92, 12-16, (2006).
- Dağsöz, A, K., "Isı Değiştiriciler", *İTÜ Matbaası*, İstanbul, 1985.
- Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, "Seramik Kaplama Malzemeleri Sektörü Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013)", *DPT, Ankara, 98*, 2006.
- Devlet Planlama Teşkilatı, "DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu", *DPT, Ankara, 2552 - Ö_K: 568, 85*, (2001).
- Energy Information Administration, "International Energy Outlook, 2008", <http://www.tulane.edu/~bflleury/envirobio/readings/International%20Energy%20Outlook%2008.pdf>, 2008.
- Erdem, H., "Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması, Termik Santral Atılan Enerji El Kitabı", *Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi*, İstanbul, 2010.
- Ertem, G., Çelik, B., Yeşilyurt, S., "Endüstriyel tav fırınlarında ısı denkliği hesaplamaları ve enerji verimliliğinin belirlenmesi", *IV.Ege Enerji Sempozyumu*, İzmir, 2008.
- Özgür, N., "Enerji Verimliliği ve Suyun Verimli Kullanılması", Ankara, 2008.
- Özsoy, A., ve Acar, M., "Yerçekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90, 13-18, (2005).
- Pekin, H., "Seramik Sektörü", *Sanayide Enerji Verimliliği Forumu, 21. Enerji Tasarrufu Haftası Etkinlikleri*, Ankara, 2002.

- Selbaş, R., “Atık ısı enerjisinden yararlanma yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Antalya, 1992.
- Sinanoglu, U., Esen, D., O., ve Karakaş, E., “Enerji ekonomisi açısından geri kazanım sistemleri”, **TMMOB 1. Enerji Sempozyumu**, Ankara, 1996.
- Sümer, G., “Endüstriyel Seramikler”, **Anadolu Üniversitesi Yayınları**, Eskişehir, 10-35, (1990).
- Sümer, G., “Seramik Sanayii El Kitabı, 2. Cilt”, **Anadolu Üniversitesi Yayınları**, Eskişehir, 1992.
- Şen, M., “Türkiyenin genel enerji durumu”, **Enkus 2006 İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi**, İstanbul, 2006.
- Şimşek, M., “Teknik Seramik Sektör Araştırması”, **Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş Matbaası**, Ankara, 2005
- TÜBİTAK-TTGV, “Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu”, **Bilim, Teknoloji, Sanayi Tartışmaları Platformu, Sayfa: 34 – 40, Ankara**, Mayıs 1998.
- Türkiye İstatistik Kurumu, “Ulusal Seragazı Emisyon Envanteri Raporu”, **TİK, Ankara**, 2008.
- Ürün, E., Çay, Y., Kurt, H., “Isı borulu ısı geri kazanım sistem performansının deneysel olarak incelenmesi”, **6th International Advanced Technologies Symposium**, Elazığ, 16-18, (2011).
- Yazar, Y., “Türkiye'nin Enerji Durumu ve Geleceği”, **SETA Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı**, <http://arsiv.setav.org/ups/dosya/58085.pdf>, 2010.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, “Enerji Yatırımcısı El Kitabı 2012”, **Ankara**, 2012
- Türkyılmaz O., Özgiresun C., “Türkiye'nin Enerji Görünümü 2012” **TMMOB, Makina Mühendisleri Odası**, Ankara, 2012
- Türkyılmaz, O. "Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Sektörünün Durumu." **Mühendis ve Makina** 48(569): 69-77 s. , 2007
- Mavi Kitap 2011, “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri”, **Bağlı ve İlgili Kuruluşlar Dairesi Başkanlığı** Ankara 2011
- Enerji Raporu 2012, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, Ankara, 2013
- Sektörel Araştırmalar, “Seramik Sağlık Gereçleri”, **Türkiye Kalkınma Bankası Araştırma Müdürlüğü**, Ankara, 2005

FOTOĞRAF

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı
Doğum Yeri ve Tarihi

Kişisel Bilgiler
:Erhan Madan
:Çanakkale/03.04.1977

Lisans Öğrenimi
Bildiği Yabancı Diller

Eğitim Durumu
:Erciyes Üniversitesi Müh.Fak. Makine Müh.
:İngilizce

Stajlar
Çalıştığı Kurumlar

İş Deneyimi
:Kale Grubu
:Kale Grubu 1999-2007
Türk Ytong San. A.Ş. 2008-2011
Eczacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ş. 2011

İletişim
Adres
Tel
E-Posta Adresi

:Eczacıbaşı Yapı Gereçleri A.Ş. Bilecik-Bozüyük
: 0 228 314 04 00
:erhan.madan@eczacibasi.com.tr
erhanmadan@gmail.com

Tarih:15.02.2014

İmza