

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

128802

**BİR CAM FABRİKASINDAKİ ENERJİ TÜKETİMİNİN
BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİMÜLASYONU VE
OPTİMİZASYONU**

EndüstriYük.Müh. Barbaros BATUR

**F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 13/02/2002
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eralp ÖZİL
Üye : Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR (YTÜ)
Üye : Prof. Dr. Mahir Arıkol (BÜ)

(Handwritten signatures)

İSTANBUL, 2002

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON BİREKİ**

128802

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. CAM OLUŞUMU VEYAPISI	2
2.1 Camın Tarihçesi	2
2.2 Camı Özellikleri.....	4
2.3 Cam Üretimi	5
2.4 Cam Çeşitleri	7
2.4.1 Bileşim ve Özelliklerine Göre	7
2.4.2 Üretim Şekline ve Yapılarına Göre	10
2.5 Hammaddeler	11
2.5.1 Hammaddelerin Sınıflandırılması.....	11
2.5.2 Kullanılan Belli Başlı Hammaddeler	12
2.5.3 Cam Rengine Etki Eden Faktörler	14
2.5.4 Hammaddelerin Taşınması ve Depolanması	14
3. CAM ELDESİ PROSESİ	15
3.1 Harman Besleme	17
3.2 Harmanın Ergitilmesi.....	18
3.3 Camın Afınasyonu	18
3.4 Camın Şartlandırılması	20
3.5 Yanma	20
3.6 Bekler	22
3.7 Reflektör Malzemeleri	23
4. FIRINLAR	25
4.1 Yapılarına Göre Fırın Tipleri	25
4.1.1 Karşı Yanmalı, Çok Geçişli Rejeneratif Fırınlar	29
4.2 Cam Fırınlarının Bölümleri	43

4.2.1	Havuzlar (tanklar).....	43
4.2.2	Besleme Ağızları (doghouse).....	46
4.2.3	Portlar.....	46
4.2.4	Baca Kanalları.....	46
4.2.5	Boğazlar (throat).....	47
4.2.6	Camla Teması Olan Diğer Bölümler.....	47
4.2.7	Fırın Üst Yapısı, Yan ve Arka Duvarları.....	48
4.2.8	Fırın Destek Yapısı.....	48
4.2.9	Fırının Genel Çelik Yapısı.....	48
4.2.10	Cam Seviyesi Hattının Soğutulması.....	48
4.2.11	Eski Fırın Yapıları.....	48
5.	CAM SANAYİNDE ENERJİ KULLANIMI.....	50
5.1	Literatürde Cam Sanayinde Enerji Dağılımı.....	50
5.2	Dünyada Cam Sanayi ve Enerji.....	54
5.2.1	Belçika’ da Cam Sanayinin Enerji Dağılımı.....	54
5.2.2	Britanya’ da Cam Sanayinin Enerji Dağılımı.....	56
5.3	Cam Ergitme Fırınlarnn Performansları.....	58
6.	TRAKYA CAM FABRİKASI’ NDA ISIL ENERJİ TÜKETİMİNDE MEVCUT DURUM.....	75
6.1	Giriş.....	75
6.2	Kojenerasyon Sistemi ve Buhar Üretim ve Tüketimi.....	76
6.3	Cam Ergitme Fırının ve Banyo.....	77
6.4	Otoklav.....	79
6.5	Hidrojen Eldesi Prosesi.....	81
6.6	Azot Eldesi Prosesi.....	82
7.	BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANITIMI.....	85
7.1	Giriş.....	85
7.2	Ergitme Fırını Modülü.....	85
7.3	Otoklav Modülü.....	93
7.4	Hidrojen Eldesi Modülü.....	95
8.	DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	100
8.1	Sonuçların ve Değerlendirmenin Tartışılması.....	100
8.2	Cam Ergitme Fırınının Sonuçları.....	100
8.3	Otoklav Sonuçları.....	105
8.4	Hidrojen Üretim Sonuçları.....	108
8.5	Bir Cam Fabrikasında ısııl Enerji Tüketimini Azaltıcı ve Enerji Verimliliğini Arttırıcı Önlemler.....	109
	KAYNAKLAR.....	114
	EKLER.....	116

Ek 1	Britanya' da Enerji Bakanlığının Cam Ergitme Fırınlarında Enerji Tasarrufu Amacı İle Aldığı Bazı Önlemler.....	117
Ek 2	Cam Ergitme Fırınındaki Oluşum Entalpileri ve Diğer Termofiziksel Bilgi.....	118
Ek 3	Cam Ergitme Fırınının Tam Kapasitede Çalışması Durumunda Bilgisayar Programı Çıktıları.....	119
Ek 4	Cam Ergitme Fırınının Yarım Kapasitede Çalışması Durumunda Bilgisayar Programı Çıktıları.....	128
Ek 5	Cam Ergitme Fırınının Boşta Çalışma (Stand-by) Durumunda Bilgisayar Programı Çıktıları.....	137
Ek 6	2000 ve 2001 Yıllarına Ait Bazı Ayların Üretim Rakamları.....	146
Ek 7	Cam Ergitme Fırınının Boyutları.....	155
	ÖZGEÇMİŞ.....	156



SİMGE LİSTESİ

A	yüzey alanı, m ²
d	Çap, m
h_r	Işınım ile ısı geçiş katsayısı, kcal/ m ² h °C
h_t	Taşınım ısı geçiş katsayısı, kcal/ m ² h °C
K	Havanın ısı iletim katsayısı, kJ/m ² h°C
T_{cam}	Cam sıcaklığı, K
$T_{iç}$	İç yüzey sıcaklığı, K
T_{ortam}	Ortam sıcaklığı, K
$T_{yüzey}$	Yüzey sıcaklığı, K
Q	Toplam ısı
Q'	İzasyonlu durumda
Q_A	Ön ısıtılmış havanın enerjisi
Q_{A0}	Isı geri kazanım sistemine giren enerji
Q_F	Yakıt enerjisi
Q_G	Cama geçen enerji
Q_L	Isı geri dönüş sistemi yapısından ortama geçen enerji
Q_R	Fırın yapısından çevreye yitirilen enerji
Q_{r1} fırinyüze	Fırın yüzeyinden yitirilen radyasyon enerjisi
Q_{r1} aralıklar, kapaklar	Fırın yüzeyindeki aralık ve kapaklardan yitirilen radyasyon enerjisi
Q_w	Baca gazından atmosfere atılan enerji
Q_{w0}	Sistemden atık gazla atılan enerji
Q_r	Işınım (radyasyon) ile olan ısı kaybı, kcal/h
v	Hız, m/s
ε	Fırın verimi
ρ	Isı geri dönüşüm etkenliği
σ	Ön ısıtma oranı

KISALTMA LİSTESİ

AZS	Alüminazirkonyasilika
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
OEC	Oksijenle zengileştirilmiş yanma (oxygen-enriched combustion)
PVB	Polivinilbütılaldehit



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	Tipik bir sürekli fırının enine kesiti.....	16
Şekil 4.1	Tipik rejeneratör düzenlemeleri.....	30
Şekil 4.2	Yanma havası ön ısıtmasının yakıt tüketimine etkisi.....	33
Şekil 4.3	SEPR programı kullanarak bulunan ön ısıtma sıcaklığı.....	35
Şekil 4.4	Değişik rejeneratör paketlerinin fiyat verimlerinin karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.5	Kanal inversiyonu.....	47
Şekil 5.1	Fırın sisteminde enerji akıl diyagramı.....	59
Şekil 5.2	Fırın sisteminde Sankey diyagramı.....	60
Şekil 5.3	Fırın tiplerine göre spesifik enerji tüketimi.....	62
Şekil 5.4	Fırın performansları için limit faktörlerinin adım adım uygulanması.....	66
Şekil 5.5	Beş ayrı baca gazı sıcaklığı için geri dönüşüm etkenliği.....	71
Şekil 5.6	Sürekli tank fırınında yükleme test sonuçları I.....	72
Şekil 5.7	Sürekli tank fırınında yükleme test sonuçları II.....	73
Şekil 6.1	Şematik otoklav çizimi.....	80
Şekil 6.2	Hidrojen eldesi prosesi.....	82
Şekil 6.3	Claude Yöntemi ile N ₂ üretimi.....	84
Şekil 7.1	Ergitme fırını modülü akış şeması.....	88
Şekil 7.2	Cam ergitme fırınına giren/çıkan madde ve enerjiler.....	92
Şekil 7.3	Otoklav akış şeması.....	94
Şekil 7.4	Otoklava giren/çıkan madde ve enerjiler.....	95
Şekil 7.5	Hidrojen üretim (reformer) akış şeması.....	98
Şekil 7.6	Reformere giren/çıkan madde ve enerjiler.....	99
Şekil 8.1	Örnek alınan fırının değerlerinin fırınların spesifik enerji tüketimleri ile karşılaştırılması.....	104
Şekil 8.2	Örnek alınan fırının harmanında kullanılan cam kırığı oranına göre enerji tüketimi.....	109

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Soda-kireç-silis camının bileşenlerinin yaklaşık değerleri.....	8
Çizelge 2.2	Borosilikat camının bileşenlerinin yaklaşık değerleri	8
Çizelge 2.3	Kurşunlu camın bileşenlerinin yaklaşık değerleri	9
Çizelge 2.4	Çeşitli camlarda tavlama, çalışma ve ergime sıcaklıkları.....	10
Çizelge 2.5	Bazı cam renklendirici oksitler ve soda-kireç-silis camına verdiği renkler.....	13
Çizelge 3.1	Çeşitli yakıtlar için yanma havası ön ısıtma sıcaklığına göre alev sıcaklığı.....	21
Çizelge 4.1	Üretim kapasitesine bağlı olarak kullanılan fırın tipleri	26
Çizelge 4.2	Fırın tiplerinin pozitif ve negatif yönleri	26
Çizelge 4.3	Değişik ön ısıtma sıcaklıklarında fırın ısı verimi	32
Çizelge 4.4	Jeneratör parametrelerinin karşılaştırılması.....	34
Çizelge 4.5	Değişik örgü şekillerinde ve farklı geçiş sayılarında atık gaz hızları.....	36
Çizelge 4.6	Şekil 4.3' de bulunan ön ısıtma eğrilerinin verileri.....	36
Çizelge 4.7	%100 Oksijenli yanmada (%100 OEC) enerji değerleri I	40
Çizelge 4.8	%100 Oksijenli yanmada enerji değerleri II.....	41
Çizelge 5.1	Örnek alınan bir şişe-cam fabrikasında enerji tüketiminin proses ve yakıt türüne göre dağılımı.....	50
Çizelge 5.2	Farklı tipte cam üretiminde tüketilen enerjinin proseslere dağılımı.....	51
Çizelge 5.3	Üç farklı cam için ergitme işleminde gerekli olan teorik enerji ihtiyacı.....	52
Çizelge 5.4	Değişik cam türleri için özgül enerji tüketimi değerleri.....	52
Çizelge 5.5	Belçika'da cam üretimi maliyeti.....	55
Çizelge 5.6	Belçika' da düz cam üretiminde enerji dağılımı.....	55
Çizelge 5.7	Çeşitli tür camların üretiminde gerçekleşen enerji tüketimi.....	56
Çizelge 5.8	Britanya' da cam sanayinde enerji kullanımı.....	57
Çizelge 5.9	Hesapları yapılan fırınlar (Şekil 5.3) hakkındaki bilgiler.....	69
Çizelge 6.1	Otoklav program süreleri.....	80
Çizelge 7.1	Çeşitli Cam Türleri İçin Kullanılan Hammaddeler.....	89
Çizelge 7.2	Trakya Cam Fabrikası' ndaki cam ergitme fırınlarının boyutları.....	91
Çizelge 7.3	Trakya Cam Fabrikası' ndaki cam ergitme fırınlarının hesap değerleri.....	91
Çizelge 8.1	Beyaz yüzer (float) cam için harman bileşenlerinin oranları.....	101
Çizelge 8.2	Cam ergitme fırını özellikleri.....	101
Çizelge 8.3	Fırınlarının tipik çalışma şartlarındaki fırın kapasiteleri.....	102
Çizelge 8.4	Fırına giren ve çıkan kütlelerin sıcaklıkları.....	102
Çizelge 8.5	Üç ayrı kapasitede cam ergitme fırınında ısı tüketim noktaları.....	103
Çizelge 8.6	Fırının bilgisayar programı sonuçları ile gerçek tüketimin karşılaştırılması.....	103
Çizelge 8.7	Otoklav özellikleri.....	105
Çizelge 8.8	Otoklava yüklenen ve çıkan maddelerin sıcaklıkları	106
Çizelge 8.9	Otoklava giren/çıkan kütlelerin özgül ısıları.....	106
Çizelge 8.10	Otoklav programlarında kullanılan kütleler	107
Çizelge 8.11	Otoklav programlarında kullanılan süreler	107

Çizelge 8.12	Otoklavda enerji tüketiminin detayı.....	107
Çizelge 8.13	Reformer özellikleri.....	108
Çizelge 8.14	Reformerde enerji tüketiminin detayı.....	108



ÖNSÖZ

Uzun bir tez çalışmasının sonunda bu önsözü yazarken iç rahatlığı ve yorgunluğu bir arada yaşıyorum. Biliyorum ki tezimin hiç bir zaman istediğim şekle girdiği göremeyeceğim. Ne yaparsam yapayım, hep bir şeylerin eksik olduğu hissini üzerimden atamayacağım. Doktora tez çalışmamı yaparken bir çok sevdiğimden destek aldım. Bununla birlikte en büyük desteği tez danışmanımdan öte bana bir ağabey gibi yardım eden sayın Prof. Dr. Erapl ÖZİL' e, gerek okulda çalışmam gerekse Trakya Cam Fabrika ziyaretlerim için bana gerekli zamanı sağlayan hocam Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR ve tezimle yakından ilgilenen sayın Prof. Dr. Mahir Arıkol' dan aldım.

Bana tezimin her aşamasında yardım eden sayın Oya MİNEZ' e, en sıkışık zamanımda makaleleri çevirmekte yardımcı olan sayın Erol İZBULAN'a,

fabrikada ki çalışmalarında bana her türlü desteği veren Trakya Cam Fabrikası ' nın bütün çalışanları adına, sayın Ali YÖNDEM' e, Şişe Cam Fabrikası Eğitim Bölümü' nden sayın Lale ÖNSEL' e

Hesaplarımı yaparken bana destek olan sayın Prof. Dr. Hasan HEPERKAN, sayın Doç. Dr. Düriye BİLGE ve sayın Doç. Dr. Galip TEMİR' e,

Bilgisayar programları yazarken bana yol gösteren sayın Levent HELVACIOĞLU' na

Misafirperverliği ile sayın İffet DOĞAN' a

Bana gerekli hoşgörüyü gösteren Araştırma Görevlilere arkadaşlarıma,

Artık araştırma görevlisi olmayan sayın Dr. Handan ÇUBUK' a

Benden hiç bir konuda desteğini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

ÖZET

Bu tezin amacı düz cam üreten bir fabrikada üretime bağlı olarak enerji tüketimini bilgisayar ortamında tahmin eden bir model geliştirmektir. Literatürde mevcut teorik çalışma ve uygulamaları içeren bilgilere dayanılarak üretilen model kullanıcıyla arkadaş bir mantıkta düzenlenmiştir. Model sonuçlarının irdelenmesi için de Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.'nin Trakya Cam Fabrikası seçilmiş, ve model sonuçları ile bu fabrikanın sonuçları karşılaştırılmıştır.

Modelden elde edilen sonuçlar, modelin uyarlandığı fabrika için tasarruf olanaklarını ve önceliklerini de ortaya koymaktadır. Ayrıca kojenerasyon için ne kadar kurulu güce ihtiyaç olduğu bilgisayar programı yardımıyla daha gerçekçi olarak tahmin edilebilecektir.

Yaklaşık olarak toplam 1400 ton/gün üretim kapasitesi olan iki fırını bulunan Trakya Cam Fabrikası'nda düz cam üretilmekte olup, bu fabrika ülkemiz tüketiminin önemli bir kısmını karşıladığı gibi önemli miktarda ihracat da yapmaktadır. Trakya Cam Fabrikası arazisinde ise ayna ve güvenlik camı üreten bir fabrika ile azot üretimi ve hidrojen üretimi yapılan bölümler de bulunmaktadır. Bu tezdeki modelleme çalışmasına güvenlik camı fabrikası ve azot üretim birimi de dahil edilmiştir.

ABSTRACT

This thesis focuses on developing a computerized mathematical model, which will be used in forecasting energy consumption of a float glass producing factory.

This user friendly model that is based on current theoretical studies and their applications has been run by using data obtained from Trakya Glass Factory (Trakya Cam Fabrikası), a glass factory belonging to Turkish Bottle and Glass Factories Co. (Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.) Consequently the output of this application has been compared with real figures of the above mentioned factory.

Outputs can also be used in determining energy saving possibilities and priorities in the plant and in calculating the necessary power amount for cogeneration unit more precisely.

Trakya Glass Factory that supplies significant amount of domestic market need and some amount for export, has two glass melting furnaces whose total production capacity is 1.400 tons/day. Furthermore the factory premises contains also a mirror and security glass factory.

In modelling work of this thesis latter mentioned factory and nitrogen production unit (reformer) have also been included.

1. GİRİŞ

Bu tezin amacı düz cam üreten bir fabrikada üretime bağlı olarak enerji tüketimini bilgisayar ortamında tahmin eden bir model geliştirmektir. Literatürde mevcut teorik çalışma ve uygulamaları içeren bilgilere dayanılarak üretilen model kullanıcıyla arkadaş bir mantıkta düzenlenmiştir. Model sonuçlarının irdelenmesi için de Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.'nin Trakya Cam Fabrikası seçilmiş, ve model sonuçları ile bu fabrikanın sonuçları karşılaştırılmıştır.

Modelden elde edilen sonuçlar, modelin uyarlandığı fabrika için tasarruf olanaklarını ve önceliklerini de ortaya koymaktadır. Ayrıca kojenerasyon için ne kadar kurulu güce ihtiyaç olduğu bilgisayar programı yardımıyla daha gerçekçi olarak tahmin edilebilecektir.

Yaklaşık olarak toplam 1400 ton/gün üretim kapasitesi olan iki fırını bulunan Trakya Cam Fabrikası'nda düz cam üretilmekte olup, bu fabrika ülkemiz tüketiminin önemli bir kısmını karşıladığı gibi önemli miktarda ihracat da yapmaktadır. Kurulduğu günden beri sürekli olarak yenilenen fabrikanın bugünkü düzeyine gelmesinde yurt dışından teknoloji transferi ve gelişmiş olan Ar-Ge bölümünün katkısı vardır.

Sürekli üretim sistemi ile çalışan fabrikaya 2 km uzaklıkta yine Türkiye Şişe ve Cam fabrikalarına ait züccaciye üretimi bulunan Kırklareli Cam Fabrikası bulunmaktadır. Trakya Cam Fabrikası arazisinde ise ayna ve güvenlik camı üreten bir fabrika ile azot üretimi ve hidrojen üretimi yapılan bölümler de bulunmaktadır.

2. CAMIN OLUŞUMU VE YAPISI

Cam, en basit anlatımla oksitlerin bir karışımı olarak tanımlanabilir. Camın yapısının temel özelliği bir düzensizlik durumunda olmasıdır. Bir oksitin cam oluşturabilmesi için katyon oksijen bağının düzensiz bir yapıya olanak verecek şekilde esnekliğe sahip olması ve bu düzensiz yapıyı koruyacak kadar sağlam olması gerekir. Ergime sonucu oluşan düzensiz yapı, camın soğuma aşamasında ve oda sıcaklığındaki katı durumunda bile korunabilmelidir.

Ergimiş yada sıvı haldeki cam, yüksek bir viskositeye sahiptir. Örneğin, 1000°C civarında olan normal ergimiş yada sıvı haldeki camın viskositesi, çok yüksektir (Tooley, 1953; Kuşcuoğlu vd., 1993a). Böyle bir cam soğutulduğunda sıvı durumdaki moleküller, yüksek viskosite, ağır molekül hareketleri ve yetersiz süre nedeniyle, moleküler yapı düzlemindeki katı durumun düzgün kristal yapısına geçemezler.

Bu olayların sonucunda sıvı durumdaki cam molekülleri, sıvı maddelerin moleküler yapı düzeni içinde sabit hale geçerler. Cam yapısı, sıvı gibi kalmasına karşın, katı madde görünümündedir ve kristallenmesine engel olacak kadar yüksek bir viskositeye ($>10^{13}$ poise) sahiptir (Tooley, 1953; Kuşcuoğlu vd., 1993). Diğer bir deyişle, cam soğutulduğunda bir katı madde gibi davranır; sıklıkla “aşırı soğutulmuş sıvı” olarak tanımlanır. Özet olarak, camın davranışı katı madde özellikleri gösterirken molekül yapısı sıvılardaki gibidir ve bazı hallerde sabit bir ergime noktası olmayan amorf bünyeli bir silikat bileşimi olarak da tanımlanabilir.

Cam ısıtıldığında viskositesi kademeli olarak düşer ve tersine; soğutulduğunda kademeli olarak yükselir. Camın katılaşıncaya kadar soğutulması ile viskositesindeki kademeli artış, cama arzu edilen ürün şeklinin verilmesine fırsat yaratır. İstenirse cam, ısıtma ile yumuşatılabilir, istenildiği kadar şekillendirilebilir ve soğutulabilir.

2.1 Camın Tarihçesi

Camın ilk kez M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya ve Mısır'da üretildiği bilinmektedir. Bazı kaynaklara göre cam üretimini M.Ö. 4000' li yıllara dayandırılmaktadır. İlk camı üretenler

arasında Fenikeliler de yer almaktadır. Bugünkü anlamda yapılarda cam kullanımı çok eski olmayıp, kökeni Romalılara dayanmaktadır.

Cam levha yapımı ise ilk olarak 11. yüzyılda şişirilmiş silindir yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Demir bir boru ile alınan erimiş cam, borudan hava üflenerek ve döndürülerek silindir şekline getiriliyordu. Ancak, bu yöntemde elde edilen cam levha yüzeyi yeterince büyük olmadığı gibi, yeterince düzgün olamıyordu.

Silindir yöntemi daha da geliştirerek, 19. yüzyılda A.B.D. 'de endüstriyel olarak uygulanmıştır. Bu yöntemde, cam eriyiğinden düşey olarak emilen cam içine hava üflenerek, silindir şeklinde cam elde edilerek, cam levha yapılmış ve makina başına 1000 m²/gün cam üretilenmiştir. Daha sonra bulunan modern üretim yöntemleri ile silindir yöntemi terk edilmiştir.

A.B.D' de cam üretim 1608 yılında Jamestown ve 1639 Salem' de başlamıştır. Bu tarihten 300 yıl sonrasına kadar proses hemen hemen tamamen el işi olarak yapılmıştır. Bu süre içinde en önemli gelişme, cam harmanını oluşturan maddelerin saflaştırılması ve yakıt ekonomisinin artırılması ile sınırlı kalmıştır.

Sürekli bir şekilde levha halinde cam üretimi için kullanılan Fourcault prosesi, 1914 yılında Belçika'da geliştirilmiştir. Bunu izleyen 50 yıl, mühendis ve bilim adamlarının levha camın optik bozukluklarını giderme, buzlu ve parlatılmış cam levhaların üretim giderlerini azaltma amaçlı çalışmaları ile geçmiştir. Bütün bu çalışmalar, düz cam üretim teknolojisine büyük katkıda bulunmuştur. Bir düz cam üretim yöntemi olan yüzer cam (float) üretimi Avrupa Kıtasında ilk defa 1902, 1905 yılları arasında A.B.D. patentiyile başlamış, günümüze kadar yaygınlaşarak sürmüştür. Şişe, elektrik ampülü gibi çok kullanılan ürünler için otomatik makineler geliştirilmiştir. Sonuç olarak, cam sanayii günlük yaşamdaki önemi, ham madde ve enerji tüketimleri ile günümüzün başlıca sanayii dallarından biri olmuştur.

Ülkemizde cam üretimi Selçuklular döneminde başlamış, Osmanlılar döneminde büyük gelişme göstermiştir. 19. yüzyılda Beykoz'daki kristal fabrikasının ürünleri büyük beğeni kazanmıştır. Cumhuriyet döneminde ilk olarak 1937 yılında Paşabahçe' de Türkiye Şişe ve Cam Fabrikası

açılmış; bunu 1964 yılında Çayırova' da üretime başlayan pencere camı fabrikası izlemiştir. Float cam üreten Trakya Cam Fabrikası ise 1983/84 yılında üretime başlamıştır.

2.2 Camın Özellikleri

Camın özellikleri çeşitli başlıklar altında incelenebilir. Bunlardan başlıcaları;

a) Yoğunluk ve Isıl Genleşme Özellikleri

Çeşitli cam türlerinin yoğunlukları bileşimlerine göre $2,2 \text{ gr/cm}^3$ ile $3,0 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. Bazı özel cam türlerinde 8 gr/cm^3 gibi yoğunluğa ulaşmaktadır. (Shank E.B., 1958)

Camın termik genleşmesi aynı zamanda termik şoka dayanıklılığını da belirtmektedir. Isıl genleşme katsayısı düşük olan cam türleri (borosilikat cam, duracam, vycor gibi) termal şoka dayanıklılık gösterirler.

b) Mekanik Özellikler

Cam, kırılabilir nitelikte bir cisimdir. Darbe, vurma ve basınçla belirgin şekil değişiklikleri elde edilmesine uygun değildir. Cam cisimlerin dayanıklılığı, çekme mukavemeti (dayanıklılığı) ile belirlenmektedir. Camın çekme mukavemeti %5 ile 14 kg/mm^2 dir. Bu dayanıklılık dış yüzeydeki bozulmalarla (Griffith Çatlakları denilen belli belirsiz mikrondan küçük çatlaklar) önemli oranda azalmaktadır. Cam elyafın dayanıklılığı normal cam eşyalardan yaklaşık 100 kez fazladır.

Cam yüzeyinde basınç gerilimi (ön gerilimli cam, sekurit cam gibi) olduğu takdirde, basınca dayanıklılığı artmaktadır. Camın basınç dayanıklılığı, çekme dayanıklılığından fazla olup %5 ile 120 kg/mm^2 kadardır (Kuşcuoğlu vd, 1993b).

Camın sertliği, Mosh sertlik göstergesine göre 5-7 arasındadır. Bunun dışında cam dekorcuları ve gravürcüleri için kesme, yontma ve aşınma sertlikleri önem taşımaktadır. Ancak bu anlamdaki sert camın teknik anlamda sık sık kullanılan "sert cam" veya "sertleştirilmiş cam" terimleriyle karıştırılmaması gerekir. Bu anlamda sertleştirilmiş cam, zor eriyen, kimyasal veya termik

etkilenmelere daha dayanıklı hale getirilmiş (Duracam gibi) veya öngerilimli camlardır (emniyet camları).

Cam eritilmiş halde çok kolay biçimlendirilebilen ve şekillendirilebilen bir maddedir. Camın yumuşama sıcaklığı 500°C-800°C arasında değişmektedir (Eğitim Müd., 1993). Camın ısı ve elektrik iletkenliği son derece zayıftır.

c) Kimyasal Özellikler

Cam kimyasal açıdan bir çok maddeye karşı dayanıklıdır, etkilenmez. Yalnızca hidroflorik asit ve bazı alkalik çözeltiler camı etkilemektedir. Su ise yalnızca uzun zaman sürelerinde camı etkilemektedir. Camın sudan etkilenmeye karşı direncini hidrolik sınıfı belirler. Genel olarak dört hidrolik sınıftan söz edilir.

Sınıf 1: Suya dayanıklı

Sınıf 2: Sudun biraz etkilenir

Sınıf 3: Sudun fazlaca etkilenir

Sınıf 4: Suya karşı duyarlı

(Eğitim Müd., 1993)

d) Optik Özellikler

Camın en önemli ve en değerli özelliği çok yüksek seviyedeki ışık geçirgenliği. başka söylemle saydamlığıdır. Bunun dışında cam ışığı yansıtır ve kırar, güneş ışığını renk tayfına (spektrumuna) ayırır.

2.3 Cam Üretimi

Camın yapımında kullanılan üç ana madde şunlardır:

- a) Cam Yapıcılar
- b) Ağ Yapı Düzenleyiciler
- c) Ara Oksitleyiciler

a) Cam Yapıcılar:

Camın temel yapısını oluşturan maddelere "cam yapıcılar" adı verilir. Çoğunlukla bilinen cam yapıcı, silisyumdioksit yada silistir (SiO_2).

Eğer silis kristalleri, ergime noktası olan 1730°C ' a ısıtılsa, kristal ağı daha düzensiz bir yapıya dönüşür. Hızlı soğumada düzeni bozulan atomik yapı, kristal yapının düzenli hale geçebilmesi için yeterli süreyi tanımaz, sonuçta silis düzensiz bir atomik yapı ile katılaşır.

Dolayısıyla silis soğutulduğunda diğer cam yapıcı maddeler gibi düzensiz bir atomik ağ yapı oluşturur. Silis, soğuyarak birlikte, rijit hale gelir, katı madde görünümü verir ama gerçekte aşırı soğutulmuş bir sıvıdır. Bu yapıya cam gibi silis anlamına gelen "camsı silis" adı verilir.

Diğer bir cam yapıcı madde bor metalinin oksididir (boroksit- B_2O_3). Fosfor oksitleri, arsenik ve germanyum da cam yapıcı madde sınıfına girerler. Cam yapıcı maddeler soğuma sırasında atomik ağ yapı oluşturma niteliğine sahiptir.

b) Ağ Yapıcı Düzenleyiciler (Tadil Ediciler):

Silis'e sodanın (sodyumoksit- Na_2O) eklenmesi, iki madde arasında kimyasal bir reaksiyona neden olur. Soda ve silis karışımı, silisin ergime noktasından çok daha düşük bir sıcaklıkta reaksiyon verir. Soda-silis karışımının sıvı faza geçtiği sıcaklık soda miktarının arttırması ile 1000°C ' nin altına düşülebilir. Soğutulduğunda, soda-silis karışımı da silis camı gibi bir cam oluşturulur.

Soda bir ağ yapı düzenleyicisi olarak hareket eder. Başlıca özelliği ise aynı zamanda bir ergitici olmasıdır ve ergime sıcaklığını düşürücü rol oynar. Diğer bir taraftan soda, daha kolay ergiyen bir ürün oluşturarak, silisin daha düşük bir sıcaklıkta akıcı hale gelmesini sağlar. Soda-kireç-silis camındaki soda miktarı arttırıldığı takdirde, camın su tarafından kimyasal olarak etkilenmesi de artar. Bu nedenle kolay ergitilebilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen kullanışlı bir cam üretmek için, cam kompozisyonunda bazı ilaveler ile düzeltmeler yapmak gerekir.

Yaygın kullanılan bir başka ağ yapı düzenleyici madde kireçtir (Kalsiyumoksit- CaO). Kireç eklenmesi camın kimyasal etkilere dayanıklılığını artırır. Bu nedenle kireç cama bozulmazlık

kazandıran ağ yapı düzenleyici madde özelliğindedir. Magnezyum (MgO)' de camın dayanıklılığı artırır, fakat kireç kadar etkili değildir. Diğer ağ yapı düzenleyiciler, potasyumoksit (K_2O), lityumoksit (Li_2O) ve çinkooksit (ZnO)' tir. Bunlardan K_2O ve Li_2O , Na_2O yerine kullanılabilen oksitlerdir. ZnO ve CaO ise MgO ' e benzer şekilde hareket ederek kararlılık kazandıran maddelerdir.

c) Ara Oksitleyiciler (Aracılar):

Bu maddelerin bir kısmı cam yapıcı ve ağ yapı düzenleyicisi gibi hareket eder. Alümina (alüminyumoksit- Al_2O_3) ara oksitlere bir örnektir. Ara oksitin rolü; camın devitrifikasyonu (kristalleşme) eğilimini azaltmak ve sağlamlığını arttırmaktır. Camın atomik ağ yapısına bir cam yapıcı gibi katılırlar. Kurşunoksit, ara oksit gibi hareket eden diğer bir maddedir. Böylece camın daha kolay işlenebilir hale getirilmesi ve uygulanacağı alana göre gerekli görülen niteliklerin kazandırılması için, cam yapıcılara başka maddeler ilave edilir. Bu maddeler ağ yapı düzenletici ya da ara oksitlerdir. Ara oksitler, cam yapıcı ve ağ yapı düzenleyici maddelerin rolünü birlikte oynayarak, cam özelliklerini etkiledikleri gibi aynı zamanda, atomik ağ yapısını zenginleştirirler.

Normal cam yapımında, kristaller oluşursa, camın içinde bir hata olduğu düşünülür. Ancak bazı durumlarda belli şartlar altında kontrol edilerek kısmen yada tamamen kristalleşmiş cam kullanılır. Eğer sıcaklık, soğuma esnasında kristal oluşumunun meydana geldiği nokta düzeyinde tutulursa ve kristallerin tekrar düzenli bir yapıya girmesi için gerekli süre verilirse, kristal oluşur. Cam seramikleri ve bazı opak camlarda belirli görünümünün oluşturulması için kristalleşme kontrollü bir şekilde gerçekleştirilir (Kuşculuoğlu vd., 1993b).

2.4 Cam Çeşitleri

2.4.1 Bileşim ve Özelliklerine Göre

Soda-kireç-silis camı; bütün cam kap çeşitleri, düz cam, sofrası çeşitleri, bazı elyaf camları, bazı elektriksel camlarda (örneğin ampul camı) kullanılır.

Borosilikat camı; ısıya dayanıklı ve düşük çözünürlüğü olan bu camlar, bazı özel optik camlarda, radar valfleri gibi elektriksel güç kaybını düşüren camlarda, laboratuvar kapları (örneğin kimyasal madde muhafazası) için kimyasal dayanıklılığı yüksek olan camlarda kullanılır.

Kurşunlu cam; yüksek kaliteli sofra eşyalarında, optik camlarda, yüksek elektriksel direnç göstermesi istenen camlarda örneğin aydınlatma ampulünün iç kısmında kullanılan, sızdırmazlık mührü), radyasyondan korunma amaçlı panolarında kullanılır.

Soda-kireç-silis camında silis miktarındaki artış camın ergime sıcaklığını yükseltici, sağlamlığını artırıcı ve genişlemesini düşürücü etkisi olur. Soda miktarının artırılması, camın ergime sıcaklığını düşürür, sağlamlığını azaltır ve camın ısı genleşmesini artırır. Kalsiyum miktarı artırılırsa, kimyasal dayanıklılığı daha yüksek ve daha hızlı sertleşen bir cam elde edilir. Yüksek seviyedeki kalsiyumoksit devitrifikasyon (kristalleşme) problemine neden olur. Alüminyumoksit miktarının artırılması, camın sertleşmesini yavaşlatır. Aynı zamanda ergime sıcaklığını ve sağlamlığını da artırır. Soda-kireç-silis camının bileşenlerinin yaklaşık değerleri Çizelge 2.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Soda-kireç-silis camının bileşenlerinin yaklaşık değerleri

SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
%71,1	%13	%11	%2,8	%1,5

(Tooley,1953; Shand, 1958; Doyle, 1979; Kuşculuoğlu vd., 1993a)

Borosilikat camında, silisin, sodanın ve alüminyumoksitin artırılmasının etkisi, soda-kireç-silis camı için geçerli olan etkiye benzer olur. Borosilikatteki artış, genişlemenin düşmesini, kimyasal dayanıklılığın artmasını sağlar; ancak bu artışın da bir limiti vardır. Borosilikat camının bileşenlerinin yaklaşık değerleri Çizelge 2.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Borosilikat camının bileşenlerinin yaklaşık değerleri

SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
%80	%4	%12,5	%2,5	%1>

(Shand, 1958; Doyle, 1979; Kuşculuoğlu vd., 1993(a))

Kurşunlu camda kurşunoksitin miktarı artırılırsa, camın yoğunluğu aynı zamanda kırılma indisi artar. Bu artış optik camlarda yüksek kırılma indisini arttırdığı gibi, kristal sofrada içten yansıma nedeniyle yüksek ışıltı vermesini sağlar. Kurşunlu camın bileşenlerinin yaklaşık değerleri Çizelge 2.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Kurşunlu camın bileşenlerinin yaklaşık değerleri

SiO ₂	PbO	K ₂ O	B ₂ O ₃
%56	%32	%11,5	%0,5

(Shand, 1958; Doyle, 1979; Kuşculuoğlu vd., 1993a)

Cam ergime prosesi ve düşük viskositenin önemini aşağıdaki belirtildiği gibidir. Cam yapım prosesi, hammaddenin karıştırılması ve ısıtılmasıyla başlar. Bu karıştırılmış hammaddelere harman, ısıtma işlemine ise ergime prosesi adı verilir. Ergime prosesi, kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine neden olur. Ergime sırasında meydana gelen sıvı faz, harman bileşenleri arasındaki teması artırarak ergimeyi kolaylaştırmak ve konveksiyon akımlarının meydana gelmesini sağlamak için yeterince düşük viskositeli olması gerekir. Ergime prosesi sırasında ergimiş camın içinde habbeler halinde gaz oluşur. Bu habbelerin camı terk edebilmesi için ergitilen camın yeterince düşük viskositeye sahip olması gerekir.

Cam şekillendirme prosesi için fırından alındığı zaman, sıcaklığı düşürülür ve buna bağlı olarak viskositesi arttırılır. Şekillendirme prosesinin başlangıç ve sonu arasındaki viskozite aralığına çalışma aralığı adı verilir.

Cam normal olarak soğumaya bırakılırsa, kırılabilir yada içinde daha sonra kırılmasına neden olacak gerilimler oluşur. Bu durum kesme, dekorlama ve kullanım sırasında tehlike yaratır. Gerilimlerin giderilmesi için soğutma hızı belirli bir sıcaklık aralığında kontrollü olmalıdır. Bu sıcaklık aralığına tavlama aralığı adı verilir. Çeşitli camlar için tavlama ve ergime sıcaklıkları ve çalışma aralığı sıcaklığı Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Çeşitli camların tavlama, çalışma ve ergime sıcaklıkları

(°C)	Tavlama Noktası	Çalışma Aralığı	Ergime Noktası
Soda-Kireç-Silis Camı	560	700-1200	1370
Borosilikat Cam	570	790-1450	1600
Kurşunlu Cam	440	605-1200	1430

(Tooley,1953; Shand, 1958; Kuşculuoğlu vd., 1993a)

Herhangi bir sıvı karışımının soğutulması sırasında kristal oluşumunun başladığı sıcaklığa “kristalleşme” sıcaklığı adı verilir. Cam, sıvılaştırma sıcaklığının tam altında belli süre tutulursa, içinde kristaller oluşur. Bu durum camın "devitrifiye olması" veya "devitrifikasyon" olarak adlandırılır. Kristal bir yapı oluşturmak için atomik yapının zamana ihtiyacı vardır. Bu olayı engellemek için camın kristalleşme sıcaklığından hızla geçilmesi sağlanmalıdır. Böylelikle cam gittikçe daha yüksek viskoziteye sahip olurken, kristal oluşumlar meydana gelme olasılığı da azalır. Kristallenme sıcaklığı ve silisin viskozitesi, ağ yapı düzenleyici oksitlerin kompozisyona girmesi ile büyük ölçüde etkilenir. Genelde, bir cam kompozisyonuna yeni bir madde eklenirse camın söz konusu sıcaklıkta viskozitesi artacağından, kristallenme sıcaklığı düşer ve kristallerin oluşma eğilimi azalır (Shand, 1958; Kuşculuoğlu vd., 1993a).

2.4.2 Üretim Şekline ve Yapısına Göre

a) Düz Cam

Ağızla üfleme düz cam (tabakalar haline getirilir), çekilmiş tabaka camlar, floatcam (yüzdürme), dökme cam kesintili ve kesintisiz dökme yöntemi ile çekme cam olarak imal edilebilir.

b) Çukur, Derin Cam Kaplar

Üfleme yöntemi ile, el imalat- ağız ile üfleme, yarı mekanize üfleme cam, tam mekanize üfleme cam, pres yöntemi ile, yarı mekanize pres, tam mekanize pres, savurma yöntemi ile, yarı mekanize savurma, tam mekanize savurma yöntemi ile çekme cam olarak imal edilebilir.

c) Özel Camlar, Sanayii ve Kimyasal Cam Kaplar (teknik amaçlı kullanılan camlar)

Optik amaçlı camlar, cam boru ve cam çubuk, cam elyaf, cam yünü, cam dokuma ve ince cam çubuk (küçük cam biblo, düğme, taş gibi eşyaların yapımında kullanılır) şeklindedir (Kuşculuoğlu, 1993b).

2.5 Hammaddeler

2.5.1 Hammaddelerin Sınıflandırılması

Cam hammaddeleri görevlerine göre iki sınıfa ayrılırlar :

a) Ana Hammaddeler

Bunlar camın ana bileşenlerini sağlayan ve harmana genellikle ağırlıkça %1' in üzerinde giren hammaddelerdir. Kum, kuvarsit, kalker, dolomit, feldpat, soda, boraks, asitborik, potasyum karbonat, sülyen ve cam kırığı bu grupta yer alır.

b) Yardımcı Hammaddeler

Bunlar genellikle harmanda ağırlıkça %1' in altında yer alan hammaddelerdir. Görevleri bakımından bazı alt başlıklara ayrılırlar.

Afınan maddeler: Camda afınasyonu (ergimiş camın gaz kabarcıklarından arınması) sağlamak için kullanılırlar. Belli başlıları; Na_2SO_4 , $(\text{CaSO}_4, \text{BaSO}_4)$, NaCl ' dir.

Renklendiriciler ve renk gidericilerdir: Bunlar genellikle cama renk vermek veya renksiz camda FeO , Fe_2O_3 nedeniyle oluşan istenmeyen renkleri maskelemek amacıyla kullanılırlar. Başlıcaları Co , CuO , NiO , NiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 , metalik Se , Au , Pt , Ag , V , CdS gibidir.

Oksidan maddeler: Ana görevleri harmandaki organik karakterli kirlilikleri oksitlemek ve demiroksiti cama daha az renk veren Fe_2O_3 ' e çevirmektir. Belli başlı oksidan malzemeler Na_2SO_4 ' a ek olarak NaNO_3 ve Sb_2O_3 ile CeO_2 ' dir.

İndirgen maddeler: Ergitme işleminin indirgen koşullarda yapılmasını sağlayan maddelerdir. Belli başlıları, kömür (C), kükürt (S), yüksek fırın cürufu (calumite) dir (Tooley,1977; Kuşculuoğlu vd., 1993a; Kuşculuoğlu vd., 1993b).

2.5.2 Kullanılan Belli Başlı Hammaddeler

Sililka (SiO_2): En yaygın kullanılan cam yapıcı oksittir. Cama dayanım ve kimyasal dayanıklılık kazandırır. $1700\text{ }^\circ\text{C}$ ' nin üzerinde ergir.

Soda (Na_2O): Ergime derecesini düşürmek amacıyla en sık kullanılan ağ yapı düzenleyici oksittir. Sahip olduğu akışkanlık kazandırma özelliğine "flanks oluşturucu" (ergitici) denilir. Bu nedenle soda bir flanks maddesi olarak anılır. Soda camın ergime derecesini düşürmek ile birlikte, kimyasal dayanıklılığını ve ısı genleşme katsayısını azaltır.

Potasyumoksit (K_2O): Sodaya benzer biçimde ağ yapı düzenleyici bir oksittir. Soda kadar olmasa da flanks oluşturucu bir oksittir. Camın kırılma katsayısı ve Na_2O ' ya göre elektriksel direncini artırır. Na_2O ile birlikte kullanılmasıyla oluşturulan karışık alkali etkisi camların kimyasal dayanıklılığını ve elektriksel dirençlerini çok yükseltir.

Kireçtaşı (CaO): Ağ yapı düzenleyici bir oksittir, ergimeye yardımcı olur, çalışma aralığını daraltır, kimyasal dayanıklılığı artırır. Fakat genellikle camın devitrifikasyon eğilimini yükseltir.

Mağnezyumoksit (MgO): Kalsiyumoksite benzer özellikler gösterir. Ancak devitrifikasyona karşı eğilimi daha azdır. Camın havaya karşı dayanıklılığını artırır.

Alümina (Al_2O_3): Az miktarda kullanılır. Ergime sıcaklığını yükseltir, camın çalışma aralığını genişletir, kimyasal dayanıklılığı artırır, devitrifikasyon olayını engeller. Ara oksitlerden biridir.

Boroksit (B_2O_3): Boroksit, ısı genleşme katsayısı düşük olması istenen camlarda kullanılır. Bu durum fırın kaplarında ve diğer pek çok özel cam türünde istenen bir özelliktir. Boroksit ikinci en önemli cam yapıcı oksittir. Camın ergime işlemini kolaylaştırır, kimyasal dayanıklılığını artırır.

Cam yapımında kullanılan bazı hammaddeler oksit formundadır. Örnek olarak SiO_2 , PbO , Al_2O_3 i gösterilebilir. Ancak hammaddelerin hepsi oksit formunda değildir. En çok bilinen formlar karbonlar, nitratlar ve sülfatlardır. Bazı kompozisyonlarda birden çok oksit de bulunabilir.

Cam renklendirici oksitler: Temel renklendirici oksitler, bir sıvıda çözündüğünde kendi karakteristik rengini veren belli bir grup metalin bileşikleridir. Bazı durumlarda, örneğin demir bileşiklerinde, birden fazla renk meydana gelebilir. Renk demirin değerliliğine bağlıdır. Cam renklendirici oksitler ve bunların soda-silis-kireç camına verdiği renkler Çizelge 2.5' de gösterilmiştir. Bu renklendiriciler bir başka cam türünde farklı renk verebilirler.

Renk, ana cam kompozisyonundan etkilenmenin yanı sıra camın oksidasyon seviyesinden, ergitme sıcaklığından ve ergime süresinden de etkilenir.

Çizelge 2.5 Bazı cam renklendirici oksitler ve soda-kireç-silis camına verdiği renkler

Oksitler	Verdikleri Renkler
Demir (Fe^{+2})	Mavimsi yeşil
Demir (Fe^{+3})	Sarımsı yeşil
Bakır	Yeşilimsi mavi
Nikel	Dumanlı gri
Krom	Yeşil
Manganez	Mor
Kobalt	Mavi/Menekşe

(Kuşculuoğlu vd., 1993b)

Renksizleştirme: Cama istenmeyen renkleri veren maddelerin bulunması durumunda, renksizleştirme maddeleri denen ancak gerçekte kendileri de renklendirici olan maddeler kullanılarak cam renksizleştirilir. İlave edilen renklendirici maddelerin rengi, hammaddelerden gelen ve istenmeyen maddelerin neden olduğu rengi maskeler, böylece camın göze renksiz gözükmesi sağlanır.

Rengin başka renklerle maskelenmesi işlemine fiziksel renksizleştirme işlemi denir. Kimyasal renksizleştirme ise camın oksidasyon veya redüksüyon durumu ayarlanarak, istenmeyen maddelerin veya ilave edilen renksizleştirici maddelerin yarattığı renk etkisi değiştirilmesidir.

Cam kırığı: Cam kırığı harmana oranla kolay ergir ve toplanıp fırına geri verilmesi çevre kirliliğini önler. Bu nedenle harmana mümkün olduğunca çok katılması istenir. Cam kırığı, üretim hattında kenar kesmelerden, hatalı üretimden veya kape kırıklarından sağlanır (Tooley,1977; Kuşculuoğlu vd., 1993b).

2.5.3 Cam Rengine Etki Eden Faktörler

- a) Ana cam kompozisyonu: Cam yapıcı ve modifiye edici iyonların birbirine olan oranı değiştiğinde, camda elde edilen renkler de değişebilir.
- b) Ergitme sıcaklığı ve süresi: Aynı cam yüksek ve düşük sıcaklıklarda ergitildiğinde rengi farklılaşabilmektedir. Ergime süresinin de kısa veya uzun olması benzer sonuçlar doğurur.
- c) Ergitme koşulları-fırındaki oksidasyon seviyesi: Fırın oksidasyon seviyesinde, yükseltgene veya indirgene doğru olan herhangi bir değişim, cam rengini büyük ölçüde etkileyebilir.
- d) Sıcaklık profili: Bazı renkler için soğuma profili ve süresi büyük önem taşır.

2.5.4 Hammaddelerin Taşınması ve Depolanması

Üretimde kullanılan maddelerin kuru olarak saklanması gerektiğinden, yığınlar basit kapalı binalarda depolanır. Binanın zemini betondur ve geniş girişlere sahiptir. İşletmede, dağıtım noktasından depolamaya kadar hammaddelerin çoğunun taşınmasında konveyör ve vinçler kullanılır.

Kalitenin korunması için ilk önce kirlenme önlenmelidir. Taşıma sırasında ve işletme içinde gerekli özen gösterilmelidir. Hammaddelerin bozulması üretim için olası bir tehlikedir. Çoğu nem çeker, taşlaşır veya sertleşir. Bu yüzden stoklama doğru ve dikkatli bir biçimde yapılmalıdır. Hammadde taşıma esnasında segregasyona uğramamalıdır.

Harman, vinçler, konveyör ve vibratörlerle taşınıp fırına verilir. Tartım tek tek yapılır.

3. CAM ELDESİ PROSESİ

Camın üretiminde kullanılan ham maddeler bir reçeteye göre doğru oranlarda dikkatlice tartılıp harmanlandıktan (karıştırıldıktan) sonra fırın silosuna nakledilir. Ham maddeler silodan fırına düzenli olarak beslenir. Dekompozisyon yoluyla hammaddelerin oksitlerine dönüşmelerine yetecek sıcaklıklara kadar ısıtılırlar. Böylece önce dekompozisyon, ardından ergime yada daha önceden ergimiş bir başka hammaddenin içinde çözünme yoluyla oksitlerine dönüşürler.

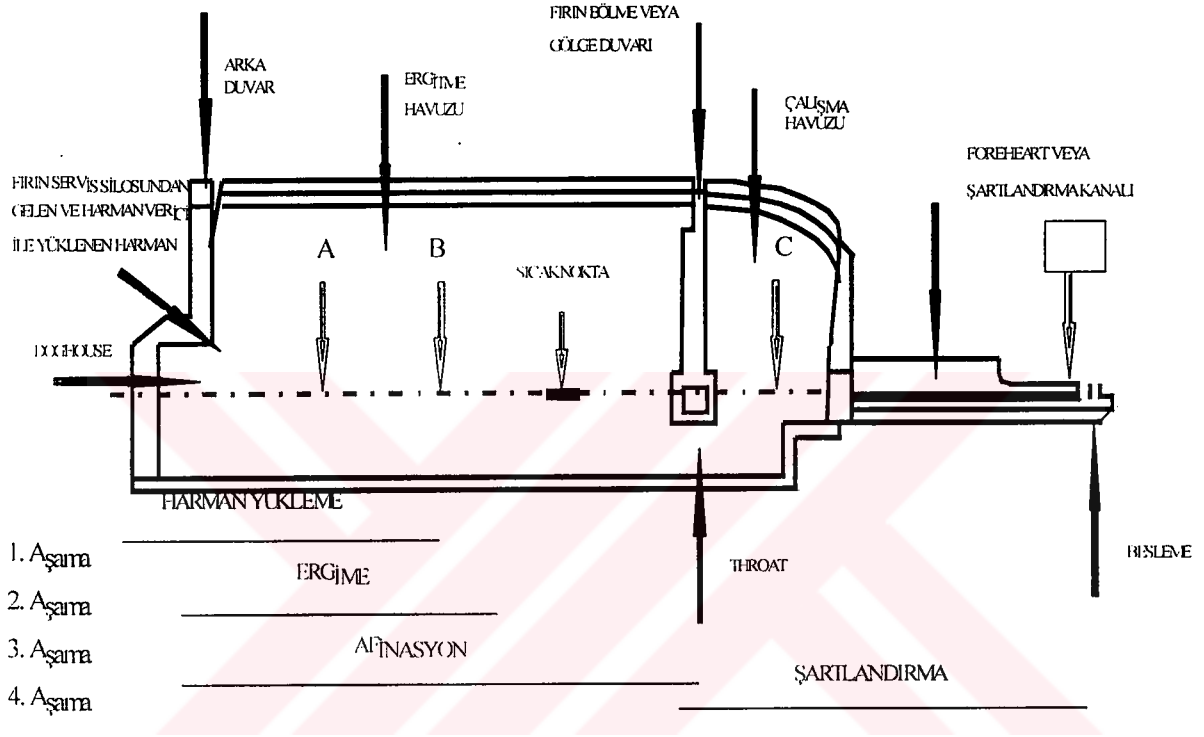
Meydana gelen kimyasal reaksiyonlarda ortaya çıkan gazlar, yüzeye doğru yükselirken; ergimiş camı bir miktar karıştırır ve camı terk eder. Bütün bu olayların meydana gelmesi yüksek sıcaklık gerektirdiğinden, elde edilen camın işlenebilmesi ve son ürün olarak şekillenebilmesi için soğutulması gerekir. Fırın içinde meydana işlemler, cam eldesi prosesi olarak tanımlanır. Bu proses dört ayrı aşamada incelenir:

- a) Harmanın fırına verilmesi (harman besleme)
- b) Harmanın çözülmesi, reaksiyona girmesi, ergimesi ve oksitler halinde çözünmesi (ergime)
- c) Habbelerin camdan uzaklaşması ve ayrı ayrı eriyiklerin birbiri ile karışması (afinasyon-arıtma). Bu süreç iki kısımda incelenir
 - 1) Afinasyon: Habbelerin ergimiş camdan uzaklaşması
 - 11) Homojenizasyon: Ergimiş camın karışması
- d) Camın doğru bir şekilde çalışma sıcaklığına soğutulması (şartlandırma)

Tipik bir sürekli fırının boyuna kesiti Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Aynı şekilde cam eldesi prosesi aşamalarının nerelerde olduğu da görülmektedir. Bu fırın tipi, üretilen tüm camların %60' ının elde edildiği fırın tipine bir örnek oluşturmaktadır.

Harman besleme ağzında (doghouse) başlar ve ergitme havuzunun ortasına gelmeden tamamlanır. Ergitme fırın arka duvarından başlar ve sıcak noktanın bulunduğu yerde tamamlanır.

Afinasyon fırın arka duvarından başlar; “boğaz (throat) bölgesi” nde tamamlanır. Şartlandırma boğazda başlar ve şartlandırma kanalında tamamlanır.



Şekil 3.1 Tipik bir sürekli fırının enine kesiti

A Bölgesi: Bir miktar harman hala cam yüzeyinde yüzmektedir, bu nedenle harman besleme işleminin etkisi henüz bitmiş değildir. Ergime reaksiyonları hızlı bir şekilde devam etmektedir. Bu reaksiyonlar çeşitli gazların açığa çıkması ve camdan uzaklaşmasına neden olduğundan afinasyonun başladığı söylenebilir.

B Bölgesi: Yüzen harman tabakası artık görülmeyip harman besleme tamamlanmıştır. Fakat halen geriye kalan çözünmemiş hammadde parçacıkların çözünmesi için ergime işleminin bir süre daha devam etmesi gerekmektedir. Buna rağmen ergime havuzunda geriye kalan önemli iş,

afinasyonun tamamlanmasıdır. Böylece ergimiş camdaki habbelerin sayısı kabul edilebilir düşük bir seviyeye iner ve camın kimyasal açıdan homojen duruma gelmesi sağlanır.

C Bölgesi: Bu bölgede artık cam ergimesi ve afinasyonunu tamamlamıştır. Soğumakta (şartlandırılan) olan cam şekillendirme prosesi için henüz çok sıcaktır.

D Bölgesi: Cam şekillendirme aşamasına yaklaşırken, şartlandırma bu noktada kritik bir hal almaktadır. Sıcaklığın istendiği gibi olması ve sıcaklık farklılıklarının görülmemesi gerekir.

3.1 Harman Besleme

Harman besleme, verimli bir üretim için kontrollü olarak yapılmalıdır. Düzgün olmayan harman besleme işlemi, camın ergime ve afinasyonunun da düzgün olmamasına yol açar. Fırınlara harman besleme yöntemine göre iki grupta ele alınırlar:

a) Aralıklı Beslenen Fırınlara: Pota fırınları ve günlük tank fırınları bu gruba girer. Aralıklı besleme, "harman verme", "rafine etme" ve "cam işleme" gibi proseslerin aynı bölgede birbiri ardına yapıldığı durumlarda kullanılır. Bu fırınlara harman elle yüklenir ve cam belirli bir seviyeye düşünceye kadar işlenir.

b) Sürekli Beslenen Fırınlara: Fırının bir ucundan ergimiş camın çekilirken hammaddeler diğer uçtan çekiş hızına uyumlu olacak şekilde mekanik yöntemlerle fırına yüklenir.

Üretim makinalarının değişikliklerinden etkilenmemesi için fırın içindeki cam seviyesinin sabit tutulması gerekir. Cam seviyesindeki oynamanın, mamul gramajı, fırın sıcaklığındaki değişim, camın kalitesi, şekillendirme, fırın yakıt tüketimi ve reflektör yapısı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu nedenle cam seviyesi otomatik olarak kontrol edilir ve bu durum harman besleme hızının kontrolü ile sağlanır.

Harmanın fırına beslenmesi için dört temel mekanik yöntem vardır. Bunlar; vidalı, itici, vibratörlü ve katlamalı yükleyicilerdir.

3.2 Harmanın Ergitilmesi

Harmana Isı Transferi: Alevin sıcaklığı, fırın üst yapısı, harman kümecikleri ve ergimiş camın sıcaklığından daha fazladır. Alevden ısı geçişi temel olarak ışıyım (radyasyon) yolu ile olur. Taşınım (konveksiyon) ısı geçişi ise sadece alev harmana temas ettiği bölümlerde oluşur. Benzer biçimde baca gazları sıcaklığı da harmandan daha yüksek olduğundan baca gazından harmana ısı geçişi yine taşınım yoluyla yapılır. Cam seviyesinin altındaki harman kümelerine ısı geçişi, ergimiş camdan ışıyım (radyasyon), taşınım (konveksiyon) ve iletim (kondüksiyon) yolu ile olur.

Ergimiş Cama Isı Transferi: Isıl enerji, cama, fırın cam yüzeyindeki harman adacıklarından ve harman köpüğünden arınmış bölümünde, diğer bir ifade ile afinasyon bölgesinde verilir. Bu kısım, fırının ergitme bölümü uzunluğunun en az %20-%40' ı kadardır.

Cama ısı enerjisinin geçişi başlıca iki yoldan gerçekleşir. Yollardan biri cam yüzeyinden ışıyım ile, diğeri ise baca gazları ile taşınım ile olur. Cam yüzeyinden giren ısı, cam kütlesi içinde ışıyım, iletim ve taşınım yolu ile iletilir. Elektrikli fırınlarda ise karbon, molibden ve kalay oksitten yapılmış elektrotlar, ergimiş cama batmış durumdadır. Aralarından kontrollü bir şekilde iletilen elektrik akım enerjisi dönüşerek cama geçer.

3.3 Camın Afinasyonu

Afinasyon prosesi, cam ergitilmesinin en önemli unsurlarından biridir. Bu proseste amaç, ergitilmiş camın içinde genelde habbe olarak bulunan gazların atılması ve ergimiş camın homojenleştirilmesidir. Bu amaca ulaşmak için gerekli olan minimum süre, proses türüne bağlı olarak, bir saat dolayındadır. Afinasyon bölgesinde fırından çevreye olan ısı enerjisi kayıpları, cama verilecek ek enerji ile karşılanmalıdır. Aynı zamanda harmanın ergitilmesi işleminin tamamlanması için cam yüzeyi temiz tutulmalıdır. Harman artıklarının afinasyon bölgesine ulaşmaması için afinasyon bölgesinde bir termal bariyer oluşturulmalıdır. Bu bariyer yardımı ile şartlandırma bölgesinde ergimiş camın belli bir süre ve belirli bir sıcaklıkta kalması gerekir.

Harmanın reaksiyona girmesi ve ergimiş camın oluşması için, sıcaklığın yeterli yüksekliğe çıkarılması gerekir. Reaksiyon sonucu oluşan gazlar, ergimiş camın içinden yükselir ve cam yüzeyini terk eder. Camın şekillendirilebilmesi için, uygun sıcaklık düzeyine kadar soğutulması gerekir.

Habbeler, harman tanecikleri arasındaki havadan, harman reaksiyonlarından ve hammadde ayrışmasından kaynaklanır. Havadan gelen oksijen ve azotla birlikte reaksiyonlardan çıkan gazların başlıcaları olan karbonatlar, karbondioksit, hidratlarlar habbelerin başlıca kaynağıdır. Bu gazlardan karbondioksit en yüksek yüzdeye sahiptir. Çünkü karbonlar, en çok kullanılan gaz çıkartıcı harman maddeleridir.

Cam sıcaklığının artırılması habbelerden kurtulmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Sıcaklık arttıkça camın viskozitesi düşer ve konveksiyon akımları kuvvetlenir. Ayrıca genleşme nedeniyle gaz habbelerinin büyüklüğü ve yükselme hızları artar. Yaygın olarak kullanılan diğer yöntem ise, prosese afinasyon maddelerin eklenmesidir. Bunların başlıcaları boraks, boraks anhidritleri, boroksit, arsenikoksit, sodyumklorür, kriyolit, flospar, sodyumflorür, sodyumsülfat, alçı taşı, baryumsülfat, amonyumsülfat, potasyumnitrat ve sodyumnitrat' tır. Bu arıtma maddelerinin kullanılması sonucu oluşan üç etki aşağıda özetlenmiştir:

a) Gaz Çıkarma Reaksiyonları: Reaksiyonları oluşturan maddelerinin başlıcaları sülfatlardır. En yaygınları sodyumsülfat ve kalsiyumsülfattır. Sülfatlar fırının ergime bölgesinde bozunurlar. Bozunma sonucunda ortaya çıkan SO_2 ve O_2 gibi gazlar, yolları üzerindeki daha küçük habbeleri toplayarak cam yüzeyine çıkarırlar. Bazıları da küçük habbelerin içine işleyerek onları büyütürler ve cam yüzeyine çıkmalarını hızlandırırlar.

b) Camın Fiziksel Özelliklerinde Değişme: Fırındaki kum taneleri ve gaz kabarcıkları yüzey gerilimi ile bir araya gelerek birleşirler ve yüzeye doğru yükselirler. Kum tanecikleri ile zenginleşen cam yüzeyinde ergitici maddelerin azlığı nedeniyle ergime daha uzun zaman alır. Kum taneciklerinin oluşturduğu örtünün, cama olan ısı geçişini azaltması nedeniyle afinasyon süresi de daha uzun olur. Ortamda bir miktar sülfat bulunması, kum taneleri-gaz habbeleri-ergimiş cam ortak yüzeyindeki yüzey gerilimini düşürür. Ayrılan kum tanecikleri diğer maddeler ile daha kolay reaksiyona girer.

c) Gazların Camda Çözünmesi: Afinasyon aşamasından sonra gaz habbeleri yüzeye çıkmaya devam eder, ancak sıcaklıktaki azalma bu işlemi zorlaştırır. Çünkü camın viskozitesi yükselmiş, içindeki habbeler küçülmüştür. Cam soğudukça, daha fazla miktarda gaz çözünmüş olarak tutabilir ve bazı gaz habbeleri yeniden cam içinde absorbe edilir.

Fırının boğaz (throat) bölgesi de afinasyona iki şekilde yardım eder. Birincisi, bu bölgenin enine kesit alanı, fırın alanından çok daha küçük olduğundan, ergitme havuzundan gelen cam akımları çalışma havuzuna doğru geçerken birbirlerine yaklaşmak zorunda kalırlar. Boğaz öncesi cam akımlarının yaklaşarak birbirini sıkıştırmaları homojenizasyon olayına yardımcı olur. Boğazdan geçiş hızı nedeniyle hiç karışma olmaz yada çok az karışma meydana gelir, dibe çökmüş ergimeyen maddeler cama karışmaz (Kuşculuoğlu vd., 1993b).

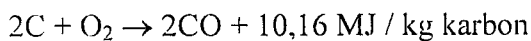
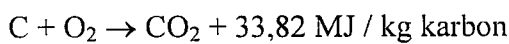
3.4 Camın Şartlandırılması

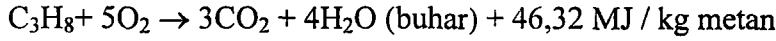
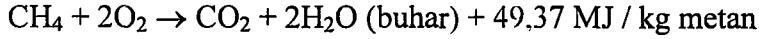
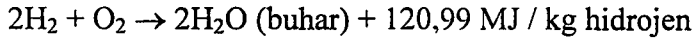
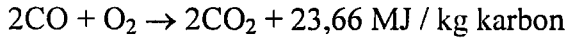
Ergitmenin ve afinasyonun başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi amacı ile camın üretim için yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gerekir. Bu nedenle yüksek sıcaklıkta bulunan ergimiş camın. üretim prosesleri için uygun olan sıcaklığa kadar düzgün ve kontrollü olarak soğutulması zorunludur.

Şartlandırma, camın başarılı ve verimli bir şekilde şekillendirilmesi için uygun olan sıcaklığa kadar düzgün olarak soğutulmasıdır. Sürekli üretim yöntemi ile çalışan bir tank fırınında, şartlandırmanın tümü çalışma havuzunda gerçekleşir. Son şartlandırma ise kanal, boğaz veya çalışma havuzu ile bağlantıyı sağlayan diğer tipteki bağlantı yapıları içinde gerçekleşir.

3.5 Yanma

Fırınlarda genelde doğal gaz, fuel-oil, LPG ve benzeri fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Bu tür yakıtların kullanımında, yanma reaksiyonunda açığa çıkan ısı enerjisi miktarı ise şunlardır:





Teorik ve Fazla Hava: 1m^3 gaz, 1lt sıvı yada 1 kg katı yakıtın tam ve mükemmel yanmasını sağlamak için gereken hava miktarına teorik hava miktarı denir. Pratikte, yanmanın fırın içinde tamamlanmasını sağlamak için her zaman bir miktar fazla hava kullanılır. Karbon, yeterli oksijen olmaksızın yanarsa karbonmonoksit dönüşür. Bu durumda, tam bir yanmada açığa çıkan ısı ancak %30'u elde edilebilir. Eğer az hava kullanılırsa yanma tamamlanmaz. Çok fazla hava kullanılırsa da atık gaz hacmi artar ve alev sıcaklığı düşer. Her iki durumda da yakıt tüketimi artar.

Isı Transferi: Alevden oluşan, ısı enerjisi, harmana, cama ve fırın tuğlalarına taşınım ve ışınlım yolu ile iletilir. Yüksek sıcaklıklarda ışınlım taşınımından çok daha önemlidir.

Alev Sıcaklığına Ön Isıtmanın Etkisi: Yanma havası ön ısıtmadan geçirilirse alev sıcaklığında artış meydana gelir. Çizelge 3.1' de 0°C ile 1250°C arasında değişen ön ısıtma aralıklarına göre üç temel yakıtın teorik alev sıcaklıklarını göstermektedir. Maksimum alev sıcaklığı teoriktir. Pratikte alev sürekli çevresine ısı verdiği için bu sıcaklığa erişmek mümkün değildir.

Çizelge 3.1 Çeşitli yakıtlar için yanma havası ön ısıtma sıcaklığına göre alev sıcaklığı

Yakıt	Alev Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)					
Doğal Gaz	1990	2110	2240	2390	2520	2660
Fuel-oil	2150	2260	2410	2550	2680	2800
Hava Gazı	1950	2080	2200	2340	2470	1590
Ön Isıtma Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	Yok	250	500	750	1000	1250

(Kuşcuoğlu vd., 1993b)

Teorik alev sıcaklığı, ön ısıtma ile elde edilen hava sıcaklığının yarısı kadar artar. Yanma havası 600°C ısıtılırsa, alev sıcaklığı 300°C artar. Ön ısıtılan yanma havası kullanmanın avantajları şunlardır:

- a) Alev sıcaklığındaki artış, ısı transferinde artışla sonuçlanır.
- b) Yanma için ihtiyaç duyulan aşırı hava miktarında azalma olur.
- c) Atık gazlardan kazanılan ısı, yanma havasının ısıtılmasında kullanılır.

Böylece baca gazlarıyla dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin önemli bir bölümünün fırına geri dönüşü, yani enerji tasarrufu sağlanır.

Yüksek çekişli cam fırınlarında ihtiyaç duyulan yüksek sıcaklıktaki alevin üretilmesi için, yanma havasının ön ısıtılması bir zorunluktur.

Eğer çok yüksek oranda aşırı hava kullanımı olursa alev sıcaklığı düşer. Bunun sonucunda ısınlımla (radyasyon) ısı transferinde önemli düşüşler gözlemlenir. Fırın çekişini arttırmanın veya rejenaratör örgülerindeki blokaj veya çökmeyi engellemenin bir yolu da, oksijen zenginleştirme yöntemidir. Yanma havasının bir kısmının veya tamamının oksijenle değiştirilmesi sonucu iki olay meydana gelir.

- a) Alev sıcaklığı artar.
- b) Sistemdeki azot çok daha az olduğundan ısıyı atmosfere taşıyacak atık gaz miktarı çok daha az olur.

3.6 Bekler

Tam bir yanma için yakıtın ve yanma havasının mümkün olduğu kadar iyi karışması gerekir. İyi bir karışım sağlamak içinde bekler kullanılır. Fırınların gazla ateşlemesinden başka bir yöntem olan ön karıştırmalı bekler kullanılmaz. Gaz doğrudan portun kenarına doğru ateşlenir. Bu yöntemle iki veya daha fazla alev yerine bir tek geniş alev oluşturulur. Gazın düşük hızı nedeniyle, yanma öncesinde yanma havası ile yakın temasa geçip, yanma havasının daha fazla ısınması sağlanır. Gazın ön ısıtılmasında ağır hidrokarbonlar parçalanır ve daha parlak bir alev

elde edilir. Parlak alev, parlak olmayana göre daha fazla ışıma yapar, böylece cama geçen ısı enerji miktarı artar. İyi dizayn edilmiş bir fırında bu fark, en fazla %1-2 oranında değişir. Çünkü parlak bir alevin tersine geçirgen olan bir alev, fırın üst yapısından geriye yansıtılan enerjinin içinden geçmesine izin verir. Sıvı yakıtın alevi, aynı şartlarda yakıldığında, gaz alevinden daha fazla parlaklığa sahiptir.

3.7 Reflektör Malzemeler

Reflektör malzemeler, yüksek sıcaklığa ve kimyasal etkilere dayanıklı malzemelerdir. Fırın yapısındaki reflektör malzemeler, yüksek sıcaklıklarda mekanik olarak dayanıklı, aşınmalara karşı dirençli, cam ve fırın gazları ile temas durumunda kararlı olmalıdır. Ayrıca ısı ve elektrik iletkenliklerine sahip olmaları gerekir. Reflektör malzeme yapımında kullanılacak malzemelerin seçiminde dikkate alınacak en önemli faktör malzemenin yüksek ergime noktasına sahip olmasıdır. Bu nedenle reflektör ürünlerinde çoğunlukla oksitler kullanılır. Bunların başlıcaları; alümina (Al_2O_3), kromoksit (Cr_2O_3), kromit ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$), kireç (CaO), magnezit (MgO), silis (SiO_2), zirkonyumdioksit (ZrO_2) dur.

Reflektör kullanımı cam ve fırın çekişine göre değişir. Örneğin, soda-kireç-silis camının ergitildiği kısa ömürlü bir fırında ergitme bölümü yan duvarları silimanitten yapılırken, uzun ömürlü bir fırın için ergimiş AZS (alümina zirkonya silika) kullanılır. Düşük çekişli borosilikat fırınının ergitme havuzu kemeri için silis kullanılırken, yüksek çekişli olan için mullit tercih edilir.

Bölgelere göre bir fırında kullanılan reflektör malzemeler aşağıda özetlenmiştir:

Silis: Fırın ana kemeri ve alın duvarı, çalışma bölgesi üst yapısı için kullanılır.

Ateş tuğlası: Fırın taban yalıtımı, baca duvarları ve alt rejenaratör sıcak yüzeylerinde veya üst rejenaratör duvarlarındaki krom-magnezitlerin arkasında kullanılır.

Sillimanit: Soda-kireç-silis fırınlarında AZS yan duvarların arka bloğu, çalışma bölgesi yan duvar blokları, taban blokları, fırın bölme duvarı örtüsü, feeder kanalları, üst yapıda kullanılır.

Mullite: Soda-kireç-silis fırınlarının arka duvarlarında, besleme ağızı kemerlerinin üstünde, portlarda, rejeneratör kemerlerinde, duvarların üst kısmında, feeder kanallarında, bek bloklarında kullanılır.

Zirkon: Fırın taban kaplamasında, fırın üst yapısında AZS ve silis arasında tampon sıra olarak kullanılır.

Ergimiş AZS: Soda-kireç-silis fırınlarında ergitme bölgesi yan duvarları, taban kaplaması, üst yapıda, besleme ağızı kemerlerinde, boğazda, elektrod ve habbe blokajlarında, baraj duvarlarında, port ağızlarında, bek bloklarında kullanılır.

Krom-magnezit: Portların ikinci bölgelerinde, rejeneratör duvarlarında, kemerlerde kullanılır.



4. FIRINLAR

4.1 Yapılarına Göre Fırın Tipleri

Günümüzde kullanılan cam fırınlarının, ergitme bölümü, rafinasyon bölümü, ve çalışma bölümü olmak üzere üç temel bölümü vardır. İlk iki bölüm birbiriyle birleşik yapıdadır. Bundan sonra ergitme ve rafine bölümüne birlikte ergitme bölümü denilecektir. Buna göre fırınlar ergitme bölümü ile çalışma bölümü arasındaki bağlantıya göre sınıflandırılabilir.

- a) Boğazlı fırınlar
- b) Köprülü fırınlar
- c) Bir bölmeli fırınlar
- d) Günlük (pota) fırınlar (Günther 1958).

Küçük ölçekli üretimlerde pota fırınları kullanılır. Bunun dışında günümüzde yüksek kapasiteli üretimlerde boğazlı (throat) fırınlar kullanılır. Boğazlı fırınlar, yanma havasının ön ısıtılmasına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- a) Karşı yanmalı rejeneratif fırınlar
- b) Sondan yanmalı rejeneratif fırınlar
- c) Reküperatif fırınlar
- d) Oksi-yakıtlı fırınlar
- e) Elektrikle ısıtılan fırınlar (Akgün ve Çoban, 1997).

Üretim kapasitesine göre optimum fırın tipleri Çizelge 4.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Üretim kapasitesine bağlı olarak kullanılan fırın tipleri

Kapasite (t/gün)	Karşı yanmalı rejeneratif	Sondan çıkışlı rejeneratif	Rekuperatif üniteli	Oksi-yakıtlı	Elektrikli
>500	Kesin	-	-	-	-
100-500	Uygun	Tercih	Tercih	Tercih	Tercih
25-100	Tercih	Tercih	Tercih	Tercih	Tercih

(Akgün ve Çoban, 1997)

Bu fırınların birbirine göre pozitif ve negatif yönleri de Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Fırın tiplerinin pozitif ve negatif yönleri

	Pozitif Yönler	Negatif Yönler
Tam Elektrikli Ergime	Yüksek kalite	Kısa kampanya ömrü
	Düşük devitrifikasyon / taş hataları	Düşük ergime kapasitesi ayarı
	Düşük habbe	Operasyona hassas
	NO _x düşük	Yüksek elektrik maliyeti
Gazlı Rejeneratif	Operatörle dost	Kısa rejeneratör dolgu ömrü
	Kapasite ayarı kolay	Yüksek taş hatası
	Orta derecede habbeli	Yüksek yatırım tutarı
	Düşük yakıt maliyeti	NO _x yüksek
Gazlı Rekuperatif	Operatörle dost	Rekuperatör aksaklıkları
	Kapasite ayarı kolay	Daha yüksek taş hataları
	Orta derecede habbeli	NO _x yüksek
	Düşük fırın maliyeti	
Oksijenli Gaz Yanmalı (Oxy-fuel)	Operatörle dost	Oksijen tesisi yatırımı
	Kapasite ayarı kolay	Oksijen tüketimi
	Düşük habbeli	Çabuk reflektör bozunumu
	NO _x düşük	
	Yakıt tasarrufu	

Cam ergitme fırınlarında oksî-yakıt kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. Bunun başlıca nedeni, klasik yanmalı fırınlara göre kirletici emisyonlardaki azalmadır. Bu azalma, NO_x'de %85, partikül emisyonunda %30-70 kadardır. Fırın tipine bağılı olarak enerji tüketimindeki azalma ise, doğrudan yanmalı fırınlara göre %60, reküperatif fırınlara göre %50-55, rejeneratif fırınlara göre %40-45 kadar olur. Böylece tonajda ise %25 ek bir kapasite artışı mümkün olur. Fırını daha kararlı işleterek kalite artışı sağlanır. İlk yatırım, rejeneratör için gerekli yatırımdan dolayı daha azdır.

Elektrikli fırınların en yaygın olarak kullanılan türleri ark, indüksiyon ve direnç fırınlarıdır. Ülkemizde elektrik enerjisinin pahalı olması nedeniyle, bu tür fırın uygulamaları ile ilgili örnekler azdır. Bileşik fosil yakıtlı-elektrikli fırınlar, fosil yakıtlı fırınlarda üretim kalitesini arttırmak amacıyla ek enerji olarak elektrik enerjisi uygulamasıdır (boosting).

Cam sektöründe kullanılan pota fırınlarında alev alttan uygulanmakta ve atık gaz üstten atılmaktadır. Tek ve çift potalı fırınlar optik ve endüstriyel cam uygulamalarında, çok potalı fırınlar ise renkli ve kristal cam üretiminde kullanılır. Potalı fırınlar, günde 20 ton veya daha az miktarda cam üretilmesi ve cam formülünün sık değişmesi durumunda kullanılır. Isı geri kazanımı için rejeneratif sistemler çoğunlukta olmakla birlikte, reküperatif sistemler de kullanılır. Potalı fırınlarda ısı verim %3-10 arasındadır. Potalı fırınlarda cam ergime işleminin tüm aşamaları pota içinde gerçekleşmektedir. Tek bir potanın kapasitesi 0,5-1 ton olup, ergime periyodu 16-24 saattir.

Çeşitli formlarda olabilen modern pota fırınları 1 ile 20 arasında pota içerebilir. 1, 10 ve 20 potalı fırınlara sıkça rastlanır. Pota fırınları cam sanayinde, küçük atölyelerden, ticari olarak el üretimi kristal cam eşyaların yapımının gerçekleştirdiği büyük boyutlu işletmelere kadar yaygın biçimde kullanılır. Pota fırınlarının kapasiteleri en fazla 2000 kg dolayındadır. Bu fırınların, dışı saç, iç kısımları ise ateş tuğlasıdan oluşmaktadır. Potaların üstü açık veya bir kapak ile kapatılmış olan iki tipi vardır. Genellikle 60-80 cm yükseklik ve 1 m genişlikte olup, bu ebatlarda 400-800 kg erimiş cam kapasitesine sahiptirler.

Potalı fırınlar kare veya dikdörtgen şeklinde olup sıvı veya gaz yakıtla ısıtılırlar. Genel olarak bir seramik reküperatör kullanılarak yanma havası ön ısıtması yapılır. Yanma havası ön ısıtma

yapılmıyorsa fırın yoğun olarak izole edilir. Tek pota fırınları elektrikle ısıtılabilir. Buradaki ısı ısınımı ana ısı transfer yöntemidir ve elektrodlar genellikle molibdendisilis' den yapılır. Dört veya daha fazla sayıda pota içeren fırınlar, genellikle dairesel formdadır Bu tip fırınların da genellikle seramik reküperatörleri vardır. Alev genellikle fırın tabanındaki bir aralıktan girer ve dairenin dış tarafına doğru potalara yakın yerlere yerleştirilmiş baca kanallarından atılır.

Tank fırınları: İki tip tank fırını vardır. Birincisi aralıklı çalıştırılan günlük tank fırınları, ikincisi sürekli çalışan tank fırınlarıdır. Günlük tank fırınları, genellikle günlük cam ihtiyacının bir tek potanın sağlayabileceğinden daha fazla olduğu durumlarda kullanılır. Bu tip fırınlar, ayrıca özel camlar için kullanılır. Küçük atölyelerde kullanılan minyatür tipleri de vardır. Bu fırınlar, genellikle dikdörtgen prizma biçimindedir. Günlük fırınlar kırılabilir potaları olmadığından pota fırınlarından daha dayanıklıdır.

Sürekli fırınların boğazlı veya boğazsız olan tipleri mevcuttur. Fosil yakıt kullanılan tüm sürekli fırınlar direkt ateşlemelidir, diğer bir deyişle alevler cama değer. Bu fırınlar, kullanılan yanma havası ön ısıtma sistemine göre üçe ayrılırlar.

- a) Ön ısıtmasız sistem
- b) Reküperatörlü ön ısıtma sistemi
- c) Rejeneratörlü ön ısıtma sistemi

Ön ısıtmasız olan fırınlara “unit melter” denir. Bekler fırında karşılıklı olarak yanar ve atık gazlar fırının harman besleme tarafındaki bacadan atılır.

Reküperatörlü fırınların en basit formları, fırının büyüklüğüne göre bir veya iki reküperatör içeren unit melterlerdir. Reküperatörlerin metalik veya seramik olması gerekir. Yüksek seviyede çekişi olan fırınlarda genellikle bunların her ikisinin kombinasyonu kullanılır. Bu tip fırınlarda alevler fırın ön duvarına ve fırın arka duvarına doğru ilerleyerek dönüş yaparlar ve baca gazları daha sonra fırın arka duvarına yakın konuma yerleştirilmiş olan porttan tahliye edilirler.

Reküperatörlü fırınlar genellikle küçük kapasitelidir. Büyük olanlar ise endüstriyel cam kap yapımında kullanılır ve kapasiteleri 200 ton/gün seviyesine ulaşabilir. Her ne kadar bir

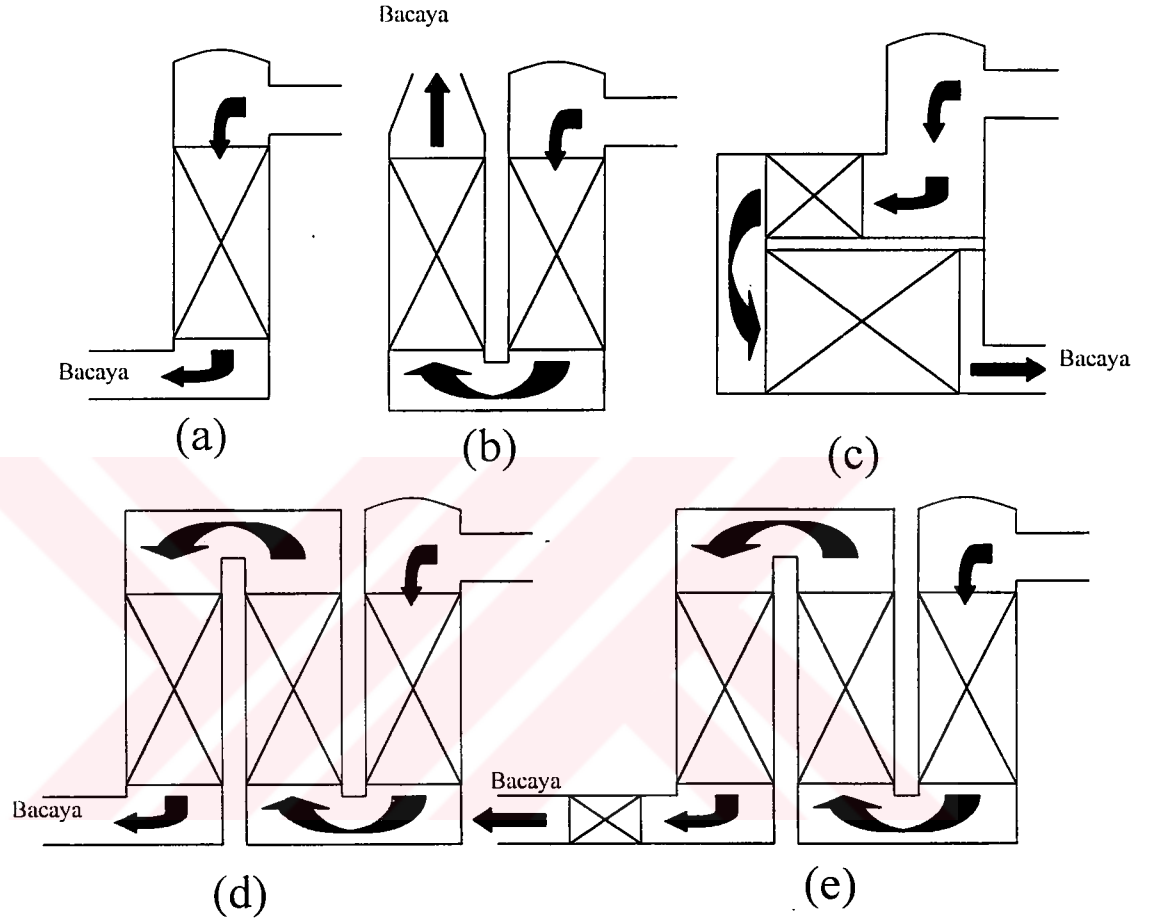
reküperatörde elde edilecek ön ısıtma sıcaklığı sabit olsa da, bu sıcaklık rejeneratörden elde edilecek sıcaklıktan daha düşük olur. Belli bir cam çekişi için gerek duyulan yakıt miktarı, yanma havasının ön ısıtma sıcaklığı yüksek olduğu oranda azalır. Böylece reküperatörlü fırınların ısı verimin, rejeneratörlü fırınlardan daha az, maksimum çıktısının da daha küçük olduğu görülür.

Rejeneratörlü fırınlar ise ateşleme yöntemlerine göre iki tipe ayrılırlar. Birinci tip fırınlarda ateşleme fırın boyunca olur ve arkadan ateşlemeli fırınlar adını alır, alev şekillerinden dolayı “at nalı fırınlar” olarak da isimlendirilirler. Bu fırınlarda rejeneratörler dikey veya yatay konumdadır. İkinci tip fırınlar yanlardan ateşlenir ve yandan ateşlemeli fırın olarak anılır. Bu fırınlarda rejeneratörler dikey durumdadır.

Her ne kadar arkadan ateşlemeli fırınlar, yandan ateşlemeli fırınlar ile karşılaştırıldığında daha verimli olarak gözüксе de ender olarak günde 200 ton üzerinde üretim için kullanılırlar. Bunun nedeni, gereken uzunluktaki alevi oluşturma ve kontrol etmedeki güçlük ve atılacak baca gazlarında tek port kullanma zorunluluğundan kaynaklanan sınırlamalardır. Cam çekişindeki limit, elektrik yardımı kullanarak aşılabılır. Bu durumda ek olarak meydana gelecek baca gazları, fazladan harman kullanımından kaynaklanan gaz halindeki kimyasal reaksiyon ürünlerinden oluşur. Yandan ateşlemeli fırınlar daha yüksek çekiş sağlarlar.

4.1.1 Karşı Yanmalı, Çok Geçişli Rejeneratif Fırınlar

Rejenerasyonla ısı geri kazanımında eksoz gazları kullanarak tuğla örümleri ısıtılır, sonra bu ısı yanma havasına alınır. Bu yöntem uzun yıllardır cam sanayinde kullanılır. Rejeneratörde tuğla örümleri yatay ve dikey yerleştirilebilir. Şekil 4.1’ de tipik tuğla örüm düzenlemeleri görülebilir. İstenirse dört geçişten fazlası da yapılabilir. Yatay ve düşey düzenlemelerden biri optimum şartlarda yerleştirilerek, baca bağlantısı yapıp gaz atılır. Oklar atık gaz akışının yönünü göstermektedir, yanma havası da ters yönde hareket eder.



- a) Tek Geçişli Dikey
- b) Çift Geçişli Dikey
- c) Çift Geçişli Yatay
- d) Üç Geçişli Dikey
- e) Dört Geçişli Yatay ve Dikey

Şekil 4.1 Tipik rejeneratör düzenlemeleri
(Turton. ve Argent, 1988; Turton. ve Argent, 1989a)

Son yıllarda dünya cam sanayiinde çok geçişli örüm sistemleri (multipass checker systems) yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu sistem daha çok sondan yanmalı fırınlarda kullanılmaktadır. Bu uygulama ile eksozun bir porttan çıktığı durumunda, fırının yatırım maliyeti çok azalır ve daha basit bir yapıya kavuşturur. Bir portlu fırınlar atık gaz, yanma havası ve yakıtın gerçek dağılımı problemini minimize eder. Çok portlu karşı yanmalı (multiport cross fired) fırınlarda ise düzgün dağılım daha zordur ve daha pahalıdır. Tam bir dağılım ve kontrol için portlar odacıklara bölünmüştür. Her birinin kendi geri dönüşümü (reversal) ve yanma havası girişi vardır. Bu yapı ve yerleşim sistemi pahalıdır. Maliyeti azaltmak için tuğla örümlerinin sayısı azaltılır, baca gazı akışı ve bir geri dönüş sistemi kullanılabilir; fakat bu prosesin sorunu bütün portlarda yanma dengesinin yetersiz kalmasıdır. Pratikte bu sorunlar, yanma havası ön ısıtma sisteminin verimsiz olmasından çok daha önemsizdir.

Toplam enerji gereksinimi, cama giden enerji, duvar kayıpları ve baca kayıplarından oluşur. Cama giden enerji, cam kompozisyonuna bağlıdır. Duvar kayıplarının ise fırın dizaynı, reflektör ve yalıtımın birlikte ele alınması gerekir. Yukarıda belirtilen iki ısı kaybının toplamı fırın için gereken toplam ısı miktarıdır. Bacadan atılan enerji ise, fırının içinde kullanılan enerjiye fazladan bir miktar enerji verildiğini gösterir.

Fırın içinde cama geçen toplam enerji faydalı ısı olarak adlandırılır. Isı geri dönüşümü, yanma havası ön ısıtması için baca kayıplarının bir kısmının geri çevirerek, fırın enerji ihtiyacının azaltılması nedeniyle önemlidir. Hava ön ısıtma sıcaklığı arttırdığı oranda ısı geri dönüştürülebilir. Isı geri kazanımı su ve karbondioksit gibi özellikle yüksek radyasyonlu gazların atık gaz kompozisyonunda ki oranları ile de etkilenir.

Çizelge 4.3' de gaz ve sıvı yakıtlar için, değişik ön ısıtma sıcaklıklarında ısı geri kazancını gösterir. Buradan fırınlar için ısı verim hesaplanabilir. Şekil 4.2' de yanma havası ön ısıtma sıcaklığı ile değişen enerji tüketimini (10^6 kJ/h) görebiliriz. Dört portlu, karşı yanmalı, 264 ton/gün soda-kireç-silis ambalaj camı üreten fırının yanma havası ön ısıtmasını gösterir. Fırın doğal gaz yakar, 84 m^2 ergitme alanına sahiptir, harmana %25 oranında kırık camla eklendiğinde, $25 \cdot 10^6$ kJ/kg lik enerjiye tüketir. Fırın çatısı çalışma sıcaklığının 1570°C ulaşır, bu şartlarda duvar kayıpları $15,53 \cdot 10^6$ kJ/h' e ulaşır. Sıvı yakıt alevinin radyasyonunun, gaz yakıt alevi radyasyonundan daha küçük olması, verimi azaltır. Sonuç olarak rejeneratör sıcaklığı ve buna

bağlı olarak önısıtma sıcaklığı, sıvı yakıt kullanıldığında daha düşük olacaktır. Bu fırında ön ısıtma sıcaklığını 980°C' den 1130°C' ye çıkarıldığında, enerji ihtiyacı 950 MJ/h azalır. Gazın fiyatının 33,8 \$/MJ olduğu varsayılırsa, günde 264 ton cam üretilen bu fırında yılda 274 000\$ tasarruf sağlanır.

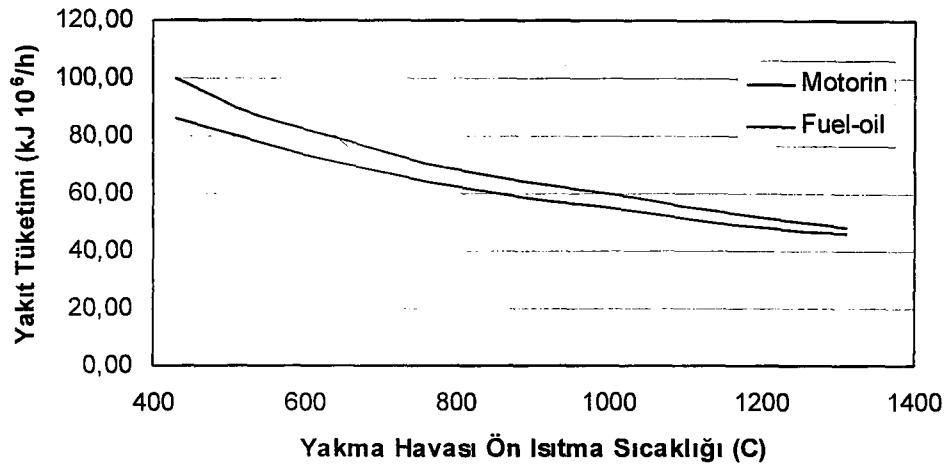
Birçok fırın yanma havasını tek geçişli rejeneratör ile ısıtılır, bu durumda yanma havası 1050°C ile 1150°C arasına çıkar. Bu tip fırınların çok azında enerji ihtiyacı 47,5 10⁶ kJ/ton' un altında kalabilmiştir. Karşılaştırsak iki yada üç geçişli rejeneratörde yanma havası ön ısıtması 1300°C civarında bir sıcaklığa ulaşır ve ısı ihtiyacı 37 10⁶ kJ/ton altında kalır. Özel bir durum olmadığı sürece, sondan yanmalı fırınlarda tek geçişli rejeneratör yapımı ekonomik değildir.

Çok geçişli rejeneratörlerin karşı yanmalı fırınlarda çok az kullanılması sorusuna yanıt vermek gerekirse, bu uygulamanın ekonomikliğine bakmak gerekir. Tipik rejeneratör dizaynına dönülüp, hangi parametrelerin gerekli olduğuna bakarsak; geçmişte çok yaygın olarak fırının rejeneratif kapasitesini belirtmek için kutu örüm hacim oranı da olarak da bilinen, ergime alanının kutu örüm hacmine olan oranı kullanılırdı. Daha yüksek orana sahip rejeneratörlerin daha iyi olduğuna inanılırdı. Bununla birlikte bu oran bize kesin bir sonuç vermez.

Çizelge 4.3 Değişik ön ısıtma sıcaklıklarında fırın ısı verimi

Yanma Havası Sıcaklığı (°C)	Isıl Verimi (%)	
	Gaz	Sıvı Yakıt
400	36.87	41.54
500	41.02	46.21
600	45.17	50.88
700	49.32	54.80
800	53.48	58.71
900	57.70	62.69
1000	62.00	66.73
1100	66.36	70.84
1200	70.80	75.02
1300	75.15	79.11

(Turton. ve Argent, 1989a)



Şekil 4.2 Yanma havası ön ısıtmasının yakıt tüketimine etkisi
(Turton. ve Argent, 1989a)

Rejeneratörden baca gazı geçişi sırasında, baca gazından duvara doğru ısı transferi olur. Daha sonra bu olayın ters yönünde duvardan yanma havasına ısı transferi olur. Rejeneratördeki ısı transferi temelde taşınım ile olur. Eksoz çevriminde karbondioksit ve sudan bir miktar radyasyonla ısı transferi olsa da, genelde taşınım daha çok öne çıkar.

Taşınım ile ısı transferi (h) ile gösterilirse, rejeneratör etkisinin ana parametreleri,

$$h_t \propto (v^{0.8} A \Delta T) / d^{0.2} \text{ olur (Turton ve Argent, 1989a).}$$

Burada (v) baca gazı hızı, (A) ısı transfer alanı, (ΔT) gaz ve duvar arasında sıcaklık farkı, (d) tuğla örüm akış çapını gösterir. Büyük baca gazı debisinin, daha fazla ısı transfer alanı ve sıcaklık farkına, bunun yanında daha küçük akış boyutuna ihtiyacı vardır.

Çizelge 4.4' de serbest akış kesişme bölgesinin uzunluğu ve en çok kullanılan rejeneratör paketi tipleri için elde edilen ısıtma yüzeyleri gösterilmiştir. Paketler, 10-20 cm boyutlarında ve 3.5-7.5 cm kalınlığında ve akışkanın saran tuğlalardan oluşmuştur. Bazı paketler tipleri ısı rejenerasyonu için, diğerlerinden daha iyi performans gösterirler. Öncekillendirilmiş bloklar en çok, sepet

örümü ise en az ısı transferi yapan örme şekillerdir. Kararlılık, blok direnci ve aşınma gibi diğer faktörler de paket seçiminde göz önüne alınması gereken faktörlerdir.

Pratikte baca gaz hızı, ısı transfer alanı ve akış çapı birbiriyle ilişkilidir. Bu ilişkiyi belli ısı transfer alanı için, yüksek hızda küçük geçiş bölgesi alanlarından oluşan uzun paketlerde daha kolay görebiliriz. Örneğin, dört akışlı 15 x 15 cm boyutlarında ve 2,5 cm yüksekliğinde bir paket 600 cm² ısı transfer alanına sahip olur. Eğer iki akış olursa hız iki kat artar ve aynı ısı transfer alanı için 5 cm yükseklik gerekir. Rejeneratör dizaynında başlıca göz önüne alınan faktörler, kullanılan baca gazı hızı ve ısı transfer alanıdır. Baca gazı hızı doğrudan akış boyutları ve akış sayısı ile ilişkilidir. Hızı optimize etmek için, akış boyutlarının olabildiği kadar küçük ve akış sayısının olabildiğince az olması gerekir. Bu da sonuçta uzun rejeneratör paketiyle (packing) sonuçlanır. Bu çok geçişli (multipass) rejeneratörün avantajıdır.

Çizelge 4.4 Jeneratör parametrelerinin karşılaştırılması

Paketleme tipi	Tuğla ölçüleri (m ³ /m ³)	Serbest akış geçiş bölgesi (m ² /m ²)	Isıtma yüzeyi (m ² /m ²)
Preforme blok	0,27-0,40	0,58-0,62	4,10-5,10
Sepet örümü	0,34-0,61	0,32-0,53	2,50-3,70
Güvercin yuvası	0,25-0,42	0,32-0,56	3,30-4,60
Aksak güvercin yuvası	0,25-0,55	0,35-0,56	3,45-4,70

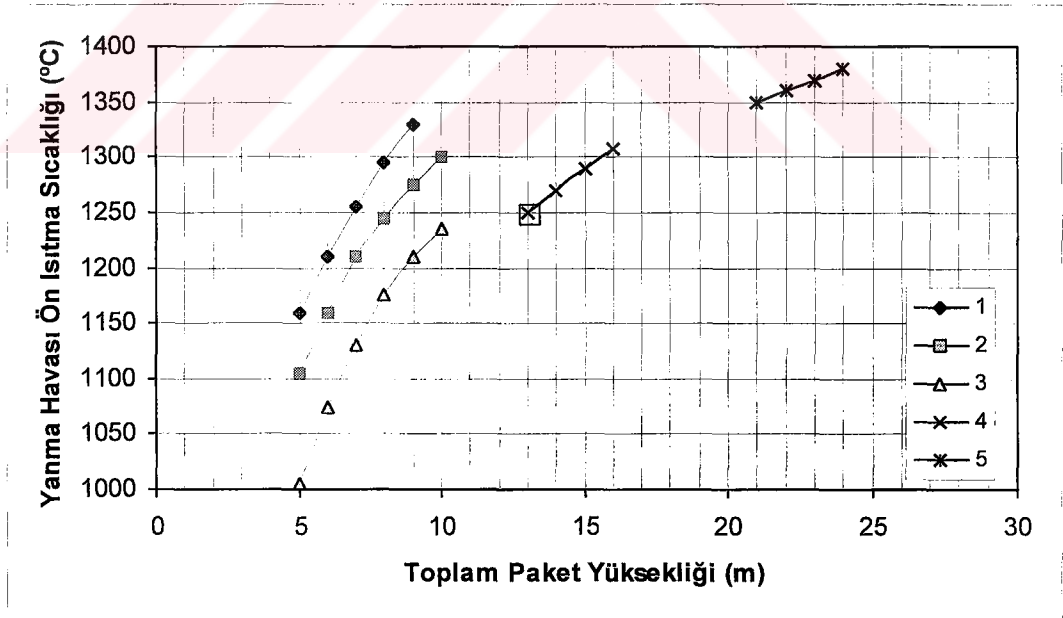
(Turton. ve Argent, 1989a)

Çok geçişli rejeneratör kullanıldığında, uygun atık gaz hızı sürdürülerek büyük bir ısı transfer alanı olan rejeneratör paketi yapılabilir. Kullanıcıların ve reflektör üreticilerinin deneyimleri, rejeneratör paket dizaynlarının değişik tiplerinin geliştirilmesinde rol oynamıştır. Jeneratör paketlerinde istenen en önemli özellik, zamanından önce blokaj olmadan ve çökmeden, ömür ve verimin optimize edilmesidir (Turton ve Argent, 1989a; Turton ve Argent, 1989c).

Önemli bir sorun da, karşı yanmalı tek geçişli fırınlarda rejeneratör paketinde gaz hızının çok sık olarak 0,5 metreye kadar düşmesidir. Paket boyları çok uzun değildir, 5,25 ila 7,75 metre arasında değişir. Bu ölçüler sondan yanmalı fırınlarda 6 metre ile 11 metreyi bulur. Sonuç olarak yanma havası ön ısıtması sadece 1130°C civarındadır. Odaların (chamber) büyük geçiş bölgesi

alanına ihtiyaç duyması da hızın neden düşük olduğunu açıklayan nedenlerden biridir. Odalar bütün portları kaplamakla kalmayıp, herbirinin arkasına doğru en az 60cm lik kısımda çelik yapıyı destekler. Yüksek hızda atık gazın vuruntusu nedeniyle hedef duvarı (target wall) koymak için minimum 2,5 metre genişliğe ihtiyaç vardır. Bu konstrüktif zorlamalar sonucu büyük geçiş bölgesi alanları kullanılır. Optimum hız için yapılan küçük geçiş alanları kullanılamaz. Bu durum özellikle ambalaj (container) camı yapımında kullanılan küçük fırınlarda geçerlidir. Yüzer (float) gibi büyük fırınlarda ise geçiş bölgesi alanında hız optimum düzeye yakın olur.

Bu gerçek bize, karşı yanmalı fırınlarda çok geçişli rejeneratörlerin kullanılması gerektiğini gösterir. Fransız füzyon döküm rejeneratör üreticisi SEPR' in yaptığı bilgisayar programında, yanma havası ön ısıtması değişik rejeneratör yapıları için hesaplanmıştır. Şekil 4.3 ve Çizelge 4.5'de 1, 2 ve 3 eğrileri tek geçişli yapıyı, 1 ve 2 eğrisi SEPR'in ürettiği haç şeklinde döküm (fused cast criciform) paketini, 3 eğrisi ise geleneksel sepet örgüsü şeklinde birbirine şapla bağlanmış tuğlaları gösterir. Beklenildiği gibi, daha fazla ısı transfer alanı olan haç şeklinde (criciform) paketinin sepet örümüne göre daha yüksek ön ısıtma sıcaklığına erişir. Şekil 4.4' de SEPR' in programı kullanılarak bulunan ön ısıtma sıcakları verilmiştir.



Şekil 4.3 SEPR programı kullanılarak bulunan ön ısıtma sıcaklığı
(Turton. ve Argent, 1989b)

Çizelge 4.5 Değişik örgü şekillerinde ve farklı geçiş sayılarında atık gaz hızları

Örülme tipi ve malzemesi	Baca gazı hızı			
	Tek geçişli	Çok geçişli		
		1. Geçiş	2. Geçiş	3. Geçiş
Bağlanmış tuğla örümü/sepet ölçümü	0,8-1,0	1,3	2,0	3,3
Bağlanmış blok örümü/Veitcher	1,0-1,1	1,6	2,6	-
Döküm blok örümü/Haç şeklinde	1,3-1,5	2,0	3,3	-

(Turton. ve Argent, 1989b).

Çizelge 4.6 bize Şekil 4.4' de verilen paketlerle ilgili verileri gösterir.

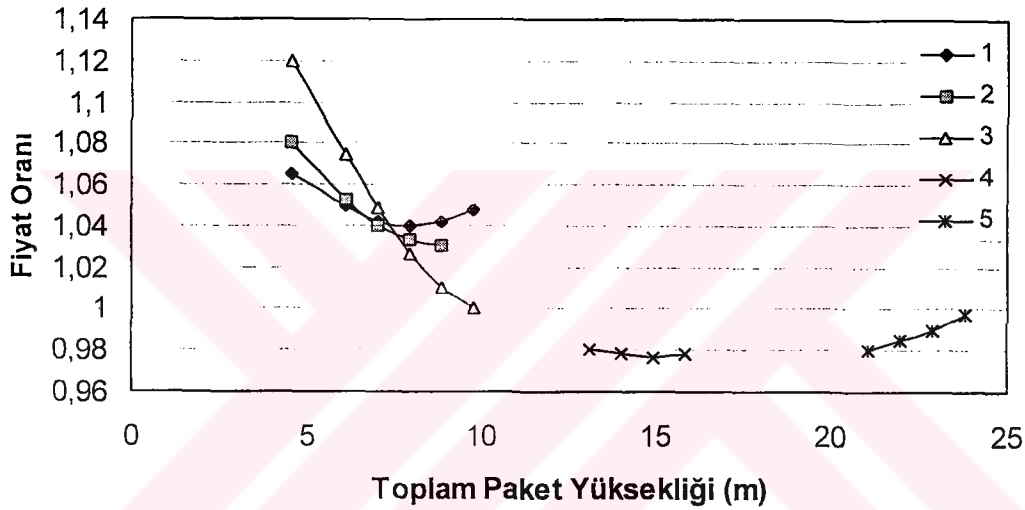
Çizelge 4.6 Şekil 4.3' de bulunan ön ısıtma eğrilerinin verileri

Eğri No	Atık Gaz Sıcaklığı (°C)	Paket Hızları (m/s)			Paket Malzemesi
		1.Geçiş	2. Geçiş	3. Geçiş	
1	1450	0,3	-	-	14 x 14 mm haç örümlü
2	1450	0,4	-	-	14 x 14 mm haç örümlü
3	1450	0,3	-	-	16,5 x 16,5 mm sepet örgüsü
4	1450	0,6	0,8	-	14 x 14 mm haç örümlü ve güvercin yuvası
5	1450	0,6	0,8	1	14 x 14 mm haç örümlü ve güvercin yuvası

(Turton ve Argent, 1989b).

Bütün eğrilerde rejeneratör duvar kayıpları %5, parasitrik hava girişi %10, rejeneratöre hava girişi 50°C, rejeneratör dönüş süresi 25 dakikadır. Şekil 4.4' de 1 eğrisi 2' den daha küçük gaz hızında dizayn edilmiştir. Bunun sonucunda, 1 eğrisinde ön ısıtma daha fazla olur. Aynı atık gaz devresinde ve aynı rejeneratör paketi yüksekliğinde hız 1,2 m/s den 0,9 m/s ye düştüğünde, geçiş bölgesi alanı % 33 artar buna bağlı olarak toplam ısı transferi de artar. 3 eğrisi ile gösterilen sepet (basket) örümlü rejeneratörün eşit hızda haç örümlü (cruciform) rejeneratörden daha fazla geçiş alanı vardır. Bunun nedeni sepet örümlü rejeneratörde 6 cm kalınlığında tuğla kullanırken haç

örümlü rejeneratörde 3,5 cm kalınlığında tuğla kullanılmasıdır. Bununla birlikte haç örümü şeklinde rejeneratör, sepet örümlü rejeneratöre göre daha fazla serbest akış alanına ve birim başına daha fazla akışa izin verir. Gerçek ısı transfer alanı sepet örümlü rejeneratörde daha azdır bu yüzden daha düşük ön ısıtma sıcaklığı oluşur. 4 eğrisi iki geçişli yapı içindir, burada ilk geçiş değişken yükseklikte haç şeklinde, ikincisi ise sabit yükseklikte güvercin yuvası (pigeon hole) şeklindedir. Uygun hız olarak alabileceğimiz 1,75 m/s hızda, ilk geçişin ısı transfer alanı 1 ve 2 eğrisine göre daha düşüktür. 5 eğrisi üç geçişli yapı içindir, burada ilk geçiş değişken yükseklikte haç örümlü, ikinci geçiş sabit yükseklikte haç örümlü, üçüncü geçiş sabit yükseklikte güvercin yuvası örümlüdür.



Şekil 4.4 Değişik rejeneratör paketlerinin fiyat verimlerinin karşılaştırılması
(Turton ve Argent, 1989b)

Paketlerin maliyeti, 60 aylık periyod için ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin toplamı ile hesap edilerek yapılabilir. Örnek olarak 264 ton/gün üretimi olan 850 m²'lik bir fırın ve toplam gaz maliyeti olarak 9,38 \$/kW bulunmuştur. Şekil 4.4' de her bir rejeneratör yapısının toplam maliyeti gösterilmiştir. Bu maliyet, 10 metre basket örüm paketinin fiyatı kullanılarak belirlenmiştir.

Bu olaydan çıkan önemli bir sonuçlardan biri, iki ve üç geçişli rejeneratörlerin bir geçişlilere göre daha ekonomik olduğudur. Fakat bu fark sadece çok küçüktür. Diğer bir önemli sonuç, sabit geçiş

alanlı ve yüksek hızlı atık gaz rejeneratör paket tipi için, optimum maliyet verimi yüksek olmasıdır. Önceden de tahmin edileceği gibi iki kat paket yüksekliği yaklaşık iki kat yatırım maliyeti getirir ve bu durumda yakıt harcaması sadece küçük oranlarda düşer. Böylece her ilk yatırım için en verimli rejeneratör paketi dikkatle hesap edilmelidir. Tek geçişli rejeneratörler (eğri 1, 2, ve 3), akışın düşük hızda haç örümlü durumda 4,6-6,7 metre, yüksek hızda haç örümlü durumda 6,7-7,9 metre ve basket örümünde ise 7,9 metrenin üstünde olduğunda daha verimli olur. Sepet örümlerinin iki geçişli olanları 16 metre yükseklikte optimum değere ulaşır. Üç geçişli örneklerin en küçük olanı bile yeterli değerleri sağlar. Bununla birlikte ikisi haç örümlü, biri güvercin yuvası olan üç geçişli sistemin, biri haç örümlü, biri güvercin yuvası olan iki geçişli sistem kadar verimli olmadığı gösterilmiştir (Turton ve Argent, 1989b) (Turton ve Argent, 1989c).

4.1.2 % 100 Oksijen Yanmalı Rejeneratif Fırınlr

Düşük düzeyde oksijen zenginleştirme, oksijen savurmak, ve yardımcı oksijen brülörü 1940' lardan beri cam ergitme fırınlarında, öncelikle de üretim miktarını arttırmak için kullanılır. Son yıllarda günlük tanklar ve ergitme birimlerinin bir çoğu oksi-yakıt brülörleri kullanan %100 zenginleştirilmiş oksijenle yakma sistemine (OEC) (oxygen-enriched combustion) dönüştürülmüştür. Bazı durumlarda %100 OEC tek başına enerji tasarrufu bile sağlayabilir. %100 OEC' nin diğer avantajları, düşen NO_x ve emisyon partikülleri, ısı geri dönüşüm sistemlerinde yatırım ve işletme giderlerinin azaltılmasıdır.

Rejeneratif ergiticilerde, %100 OEC' ler, küçük ısı geri dönüşürüsü kullanılanlara göre göreceli olarak daha az enerji tasarrufu sağlar. Bununla birlikte, oksi-yakıt yanması sonucu ortaya çıkan yüksek enerji ve port (ağız) alanın azaltılması yoluyla eriyikten radyasyon ısı kaybının azaltılarak, enerji tasarrufu sağlanır. Bu enerji tasarrufu, yeni hava ayırma teknolojisiyle düşen oksijen fiyatları, baca gazı emisyonundaki düşüşler başta olmak üzere, cam üreticilerinin karşı karşıya kaldığı her gün artan çevresel kısıtlamalar %10 OEC' li çalışmayı daha çekici bir çözüm kılmaktadır. Oksijen miktarındaki herhangi bir büyük artış hatta %100 OEC ile çalışma sırasında dahi, üretim işleminde bozulma olmaz.

Amerikan Enerji Bakanlığı (U.S. Department of Energy) ve Union Carbide Endüstriyel Gaz Şirketi'nin (Union Carbide Industrial Gases Inc.) birlikte yaptığı bir araştırmaya göre %100 OEC kullanımı ortalama olarak %15 doğal gaz tasarrufu yaptırmıştır. Bu oran günde 40 ton cam üretildiğinde %10, 75 ton üretildiğinde %12 olmaktadır. 75 ton cam üretildiğinde, spesifik yakıt tüketimi $4,96 \cdot 10^6$ kJ' dan $4,32 \cdot 10^6$ kJ' a, toplam spesifik yakıt tüketimi $5,64 \cdot 10^6$ kJ' dan $5,01 \cdot 10^6$ kJ' a düşer. Daha basit port dizaynlarına geçilerek ek tasarruf elde edilir.

Enerji tasarrufu için ikinci temel etken, %100 OEC de eriyikten rejeneratöre doğru azalan radyasyondur. Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8' de gösterildiği gibi modeldeki alan küçülmesi, görüntü faktörleri ve sıcaklıkların hesaplanması sonucunda, radyasyon miktarı ilk durumun üçte birine düşer. Sürekli çalışma sırasında $4,90 \cdot 10^6$ kJ/ton'a düşen toplam spesifik enerji tüketimi ve 75 ton/günde %15'e çıkan enerji tasarrufu ile yeni port (ağız) alanı ile daha da azaltılabilir.

Yukarıdaki değerler ile ve diğer spesifik enerji değerleri bize yüksek hava infiltrasyonunun etkisini yansıtır. Eğer tahmin edilen hava infiltrasyon oranı %80 düşürülebilirse ve fırın %100 OEC ile çalışırsa, spesifik enerji tüketimi yukarıda belirtilen miktardan daha aşağıya, $4,54 \cdot 10^6$ kJ' a düşer.

Yukarıda verilen değerlerden yararlanılarak, klasik prosesin performansı ile %100 OEC ile çalışan prosesin performansı karşılaştırılabilir. Bir önceki klasik prosesle çalışmanın sonunda günde 65 ton cam üretildiğinde, spesifik yakıt enerjisi $5,06 \cdot 10^6$ kJ, elektrik enerjisi $1,67 \cdot 10^6$ kJ olmak üzere toplam enerji tüketimi $6,73 \cdot 10^6$ kJ olur.

Elektrik “boost” un çok daha fazla kullanılmasına rağmen son proses sistem çalışma ile karşılaştırıldığında, %100 OEC kullanımında toplam spesifik enerji tüketiminde %25' lik bir azalma gözükür.

Artan duvar kayıpları yüzünden %100 OEC' li çalışma sırasında enerji performansında bazı düşüşler beklenebilir. Bununla birlikte yakma havası kullanılan sistemde büyük çapta rejeneratör kirlenmesine görülür. Bu kirlenme % OEC' de daha az olur.

Çizelge 4.7 %100 Oksijenli yanmada (%100 OEC) enerji değerleri I

Operasyon Şartları	Hava	Oksijen	Oksijen ve ek portla
Cam Üretimi (ton/gün)	75	75	75
Doğal Gaz Tüketimi (10^6 kJ/h)	15,5	13,6	13,2
Elektrik Tüketimi (kW)	590	590	590
Toplam Spesifik Enerji Tüket. (10^6 kJ/ton)	5,64	5,03	4,90
Brülörde A/F veya O_2 /F Oranı	11,2	1,65	1,65
Oksijen Tüketimi (ton/gün)	-	21,5	20,9
Soğuk Hava İnfiltrasyonu (m^3 /saat)	710	710	710
Ergitme eksoz Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	1455	1455	1455
Ön Isıtma Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	1165	1165	1165

(Tuson vd.,1992)

%100 OEC ile çalışan örnek çapraz yanmalı (cross-fired) fırında yakıt tüketimi $3,26 \cdot 10^6$ kJ, elektrik tüketimi $0,54 \cdot 10^6$ kJ olmak üzere toplam spesifik enerji tüketimi $1055 \cdot 10^6$ kW olarak bulunmuştur. Bu klasik prosese göre elektrik “boost” da %5 azalmayı gösterir. Söz konusu durumda %100 OEC ile çalışmada spesifik enerji tüketiminin, klasik çalışmaya göre %27 az olduğu görülmüştür. Değişen cam kırığı oranının ve elektrik “boost” ayarlarının fırın çalışmasında önemi büyüktür. Baca gazı partikül emisyonları da %100 OEC’de ortalama %25 azaltılmıştır.

76 ton/gün üretim gerçekleştiren %100 OEC’ li çalışma sırasında, ölçülen baca gazı hacmi. 63 ton/gün, üretim gerçekleştiren klasik çalışmadaki baca gazı hacminin sadece %75’ i kadardır (Tuson vd.,1992).

Çizelge 4.8 %100 Oksijenli yanmada enerji değerleri II

Operasyon Şartları	Hava	Oksijen	Oksijen ve ek portla
Girdiler (10⁶ kJ/gün)			
Yakıt	371	327	317
Elektrik	51	51	51
Yanma Ürünleri	3	3	
Hava Ön Isıtması	14	14	0
Toplam Girdiler	609	391	368
Çıktılar (10⁶ kJ/gün)			
Cama (harmandaki CO ₂ dahil)	194	194	194
Rejenratörden Radyasyonla	22	7	2
Duvar Kaybı	44	44	44
Eksoz Gazı (harman. CO ₂ hariç)	349	146	128
Toplam Çıktı	609	391	368
Yakıt Tasarrufu (10⁶ kJ/gün) /gün		44	54
%		11,9	14,5
(10⁶ kJ/gün) / ton O₂		2,05	2,57

(Tuson vd.,1992)

4.1.3 Elektrikli Sürekli Fırınlr

Fuel-oil ve doğal gaz kullananlar dışında elektrikle ısıtılan sürekli fırınlarda vardır. Ancak elektrik enerjisi pahalı olduğu için bu fırınlar sık kullanılmazlar. Elektrikli fırınların birim ısıtma yüzey alanı başına çekilen cam miktarı yüksek olduğu için yatırım maliyetleri düşüktür. Metodda, elektrodlar arasında yüksek sıcaklıklar yaratılarak cam homojenize edilir ve ısıyı harman örtüsünün altına taşıyan kuvvetli dikey cam akımları oluşturulur. Camın öz direnci, sıcaklık yükseldikçe düşer, elektrod üzerinden cama akım verildiğinde, camın sıcaklığı artar. Bu durumda camın öz direnci düşerek akım iletme özelliği artar. Elektrodlar ayarlanabilir çubuklar

şeklinde olabildiği gibi, sabit plaka veya paneller şeklinde de olabilir. Elektrod tipinin seçimi ergitilen camın türüne bağlıdır.

Elektrikli fırınlarda ergitme elemanları olan elektrodlar en önemli elemanlardır. Elektrodlar; reflektörlere, elektriksel iletme ve kimyasal kararlılık özelliklerine göre seçilir. Elektrodlar, grafit (C), molibden (Mo), wolfram (W), kalayoksit (SnO), gibi malzemelerden oluşur. Grafit ucuz olup, cama değen yüzeylerinde habbe oluşumuna yol açar. Molibden kararlı ve geçirgendir, ancak oksijenli ortamda kararlılığı bozulur. Wolfram dayanıklı buna karşın pahalıdır. Kalayoksit ise aşınmaya dirençli, yarı iletken reflektör bir malzemedir.

Elektrodlu fırınlar elektrod yerleşimlerine göre üçe ayrılır.

a) Tabandan elektrodlu fırınlar: Elektrodların tabana yerleştirildikten sonra, enerji verilmesiyle tabandan yüzeye doğru cam akımları oluşur. Fırındaki cam yüzeyi harmanla kaplı olup, harman alt yüzeyden ergimeye başlar. Bu şekilde yapılan ergitmede afinyasyon prosesi zorlaşır.

b) Yandan elektrodlu fırınlar: Elektrodların fırının yan tarafına yerleştirilmesi durumunda, harman tabakasının elektrodla temas ettiği yüzeylerde yüksek sıcaklıklar oluşur. Elektrodların altından tabana kadar olan kısımda ise afinyasyon gerçekleşir. Tabana doğru olan cam akımları engellendiği için, yandan plaka şeklinde elektrod yerleştirilir. Elektrod tipine göre kullanılan akım yoğunluğu farklı olup, en uygun yoğunluk 3 A/cm^2 civarındadır. Kullanılan akım yoğunluğu arttıkça elektrodların aşınma hızı da artar. Plaka tipi elektrodlar ısıyı daha homojen dağıttığı gibi aşınma hızı da düşüktür. Elektrodlar aşınarak küçülmesi durumunda tamirleri ancak fırının durdurularak yapılabilmesi, bu tip fırınların sakıncalı yönüdür.

c) Üstten elektrodlu fırınlar: Elektrodlar, harman üzerinden cam içine daldırılması prensibi ile çalışır. Bu tip fırınlarda, elektrodların hava ile temas eden yüzeylerinin iyi korunması gerekir. Yaygın kullanılan bir fırın tipidir. Genellikle elektrodlarda aşınma uç kısımlardan başlar ve elektrodla giderek kısalırlar. Bu yüzden fırınlara uzun elektrodlar konur ve kısalдықça içeri itilirler. Elektrodların içine konduğu reflektörler, dayanıklı olmalıdır. Özellikle molibden elektrodların, molibdenin oksijenli ortamlarda kararsız olmasından dolayı, reflektörler arasına, soğutma suyu ile beraber azot ve hidrojen gibi indirgen bir gaz verilerek, oksijenle teması önlenmelidir. Elektrodun reflektör dışındaki bölümü kaplanarak, hava ile teması önlenmelidir.

Metal olan molibden elektrodlar, cam bileşimindeki sülfatları indirgiyerek camda habbeye neden olurlar. Molibden elektrodlu fırınlarında, sülfat miktarı az olan cam bileşimlerin kullanılmaması durumunda habbe oluşmaz.

Konveksiyonel ateşlemeli fırınlarda olduğu gibi bütün elektrikli fırınlardan çekilen cam miktarı takviye ile arttırılabilir. Bu durumda genellikle takviye, harman örtüsü üstten ısıtılmak üzere, sıvı veya gaz yakıt kullanılarak yapılır. Bu tip fosil yakıt ve elektrik enerjisinin birlikte kullanılabildiği fırınlarda enerji kaynakları arasındaki oran %40/60 ile %60/40 arasında değişir.

4.2 Cam Fırınlarının Bölümleri

4.2.1 Havuzlar (tanklar)

a) Ergime Havuzu (melting chamber)

Ergime havuzu genellikle dikdörtgen olur. Uzunluğu ile genişliği arasındaki oran genellikle 1,3:1 ile 2:1 arasındadır. Karşı yanmalı fırınlar 3-4 m. den kısa olmamalıdır. Çatının (crown), eni en fazla 13-14 m. kadar olabilir. Daha geniş olması halinde fırın yapısı çatıyı kaldıramaz. Sondan yanmalı fırınlarda ergime havuzunun boyunun enine oranı 1,5:1 daha fazladır. Büyük karşı yanmalı düz cam fırınlarında bu oran 2:1 civarında olabilir. Karşı yanmalı ambalaj fırınlarında boy/en oranı daha küçük olup, ortalama 1,3:1, en fazla ise 1,5:1 oranındadır. Havuzların çok uzun ve dar olması, duvar kayıplarının artması nedeniyle istenmez. Üçgen formu ergime havuzlarına da rastlanabilir. Üçgenin iki köşesinde portlar diğerinde ise boğaz vardır. Burada alev U şeklini alır. Bu havuzlar sürekli cam üretiminde kullanılırlar. Bu sistemle sadece küçük bir çalışma havuzu gereklidir ve üçüncü köşeye kolayca inşa edilebilir. Harman, portların arasına yerleştirilen besleme ağzından gönderilir. Diğer port ile boğazın arasında ikinci bir besleme ağzı önerilir (Günther R., 1958).

b) Çalışma Havuzu (working chamber)

Çalışma havuzunun amacı yeterli miktarda cam üretimini ve çalışma bölgesinde yeterli sıcaklığı sağlamaktır. Çalışma havuzu, ergitme havuzuna yakın bir yere konumlandırılır ve çevresinde gerekli işçi sayısının çalışabileceği yer sağlanır.

Düz camda üretiminde, çalışma havuzu ergitme havuzundan tamamen ayırt edilemez. Ergitme havuzunun standing-off veya rafine havuzu denilen bölgesi, havuzun çalışma havuzuna yakın kısmıdır. Burada hem rafine işlemi yapılır hem de işlem devam etmeden akışkan uzun süre bekler. Ambalaj fırınlarında çalışma havuzu toplam yüzeyin %25-%40' ı arasında bir yer işgal eder. Düz cam fırınlarında karşılığı olan rafine bölgesi %50'ye kadar çıkabilir.

Ergime havuzunun derinliği düz cam için 120-150 cm, yuvarlak cam için 90-105 cm, renksiz ve amber renkli şişe camı için 70-100cm, yeşil şişe camı için 60-75 cm kadardır. Renksiz camda havuz derinliği havuz boyutlarıyla birlikte artar. Derinlik sıcaklığı etkileyerek tabandaki akışın devamlılığı üzerine kesin etkisi olur. Cam rengi değiştirmede olduğu gibi çalışma şartlarındaki herhangi bir değişiklik için de havuz daha hızlı adapte olabilmelidir. Bu nedenle, tankın içerdiği camın azaltılması gerektiğinden, havuz yapısının evrimi derinliğin azaltılması yönündedir. Derinliğin azalması ile kısa devre taşınım (konveksiyon) akımları ve homojenlik de azalır.

Havuz yapısının dizaynı ve ergimiş cam içindeki çözülmüş reflektör malzemeleri de camı etkiler. Tamamlanmamış çözülme sonucu, camda ergimemiş iplikçik veya taş görülmesi camın kalitesini etkiler. Ateş tuğlası malzemesi camda çözüldüğü zaman, fırın duvarıyla temas eden cam bölümlerinde alümina zenginleşir. Yüksek alüminalı cam, kalan camla yavaşca karıştığı için, camın havuzdan çıkış noktasına varıldığında, düzenli dağılmayan farklı miktarda alümina içerir. Kırıcı indeksin farklılığı neden ile bu kompozisyon değişimi iplikçikler olarak gözlemlenebilir. Reflektör malzemesinden kopan bu tür tanecikler kendi büyüklük ve kendi çözünürlük direncine sahiptir, hızlı çözülemez ve camda taş parçacıkları olarak kalır.

Bu sorunlardan kaçınmak ve en uzun fırın ömrüne ulaşmak için tuğlaların aşınması engellenmelidir. Cam ve tuğlalar arasında sıcaklığın olabilen en düşük düzeyde tutulması sağlanmalıdır. Bu nedenle havuzun en sıcak parçaları asla yalıtılmaz. Buna ek olarak aşınmanın havuzda tuğlaları üzerinde en kuvvetli olduğu seviye olan cam yüzeyi seviyesinde, sürekli ve kuvvetli bir hava soğutma sistemi yerleştirilmiştir. Bunun en önemli nedeni en yüksek sıcaklığın burada oluşmasıdır. Aşınmanın nedeni tam olarak bilinmese de, bunun yüzeydeki kimyasal reaksiyonlardan olduğu düşünülmektedir.

Cam yüzeyinden itibaren tuğlada aşınma, havuzda yukardan aşağıya doğru inildikçe azalır. Cam yüzeyinden aşağı inildikçe sıcaklık hızla düşer. Renksiz cam havuzlarında derinlik boyunca yavaşça düşen sıcaklık gradyanıyla, aşamalı olarak tuğla çözülmesinde de düşüş gözlenir. Buna karşı açık yeşil ve düz cam havuzlarında aşağı bölgelerde de bir miktar aşınma oluşur. Yeşil camda ki aşınma yukarıdaki 30cm-40cm bir bölge ile sınırlandırılmıştır gibidir.

Kuvvetli cam aşındırmalarının çevresindeki savunmasız birleşim noktaları bulunmaması için, renksiz camlarda genellikle havuz boyunca dikey tuğlalar kullanılır. Aynı nedenle, düz cam havuzlarının en sıcak bölümleri olan havuzun üst parçalarında yerleştirilen ek duvarda, dikey tuğlalar kullanılır.

Eğer havuz tuğlaları yatay biçimde inşa edilirse, tuğlaların dikey kenarları her sırada yarım tuğla boyu kaydırılarak döşenir. Bütün tuğlaların yükseklikleri tam olarak eşit olmadığından, genel olarak tuğlaları döşerken uçları tam olarak birbirine bağlanamaz, bir çok tuğla bir alt sıra ile kısmi olarak bağlanır. Tam yerleştiremeyen kenar, camın aşındırmasına açıktır. Yatay kenarlardaki korozyon, desteklerle ve devamındaki düşey kenarlarla karşılanır. Bununla birlikte cam seviyesindeki aşınma önlenemez.

Cam seviyesindeki havuz tuğlaları, cam seviyesi ne kadar sabit kalırsa, o kadar şiddetli aşınmaya maruz kalır. Bununla birlikte makinelerin çoğu mümkün olabilen en sabit cam seviyesinde çalışmayı gerektirir, cam yüzeyi pozisyonu kolay değiştirilemez. Aşınmanın kesin olarak azaltılması mümkündür, bununla birlikte seviyenin sabit kalması bir periyoddan uzun sürer ve aşınma ancak küçük miktarlarda azaltılabilir. Soğutmaya rağmen, ilk önce fırının en sıcak parçaları olan ilk porttan önce bulunan yüzey seviyesindeki tuğlalar eskir. Tankın daha uzun çalışabilmesi için, aşınmış bölgelerin dış tarafına genellikle ateş tuğlaları döşenir.

Havuz tuğlalarının kalınlığı genellikle 30 cm dir. Sadece özel dayanıklı tuğlalar 20 cm den incedir. Derin havuzlarda, birden fazla ömür süresince kullanılabilmesi için alt seviyedeki tuğlalar 40 cm olur. Eğer iç taraflarda fazla aşınma olursa, kalan taban seviyesinin üstüne yeni seviyeler inşa edilebilir.

Bütün havuz, taban seviyesindeki tuğlalara, bazen de orta seviye tuğlalara oturan çelik çerçevelere bağlanır. Alt tuğlalar 30 cm kalınlığında, 80cm - 100cm boyunda kare veya aynı boyda, boyu eninin iki katı dikdörtgen şeklinde olabilir. Alt tuğlaların eğme gerilmesinin verilen limitleri içinde kalması için, iki destek noktası arasındaki genişlik 40 cm yi aşmamalıdır (Günther R., 1958).

4.2.2 Besleme Ağzları (doghouse)

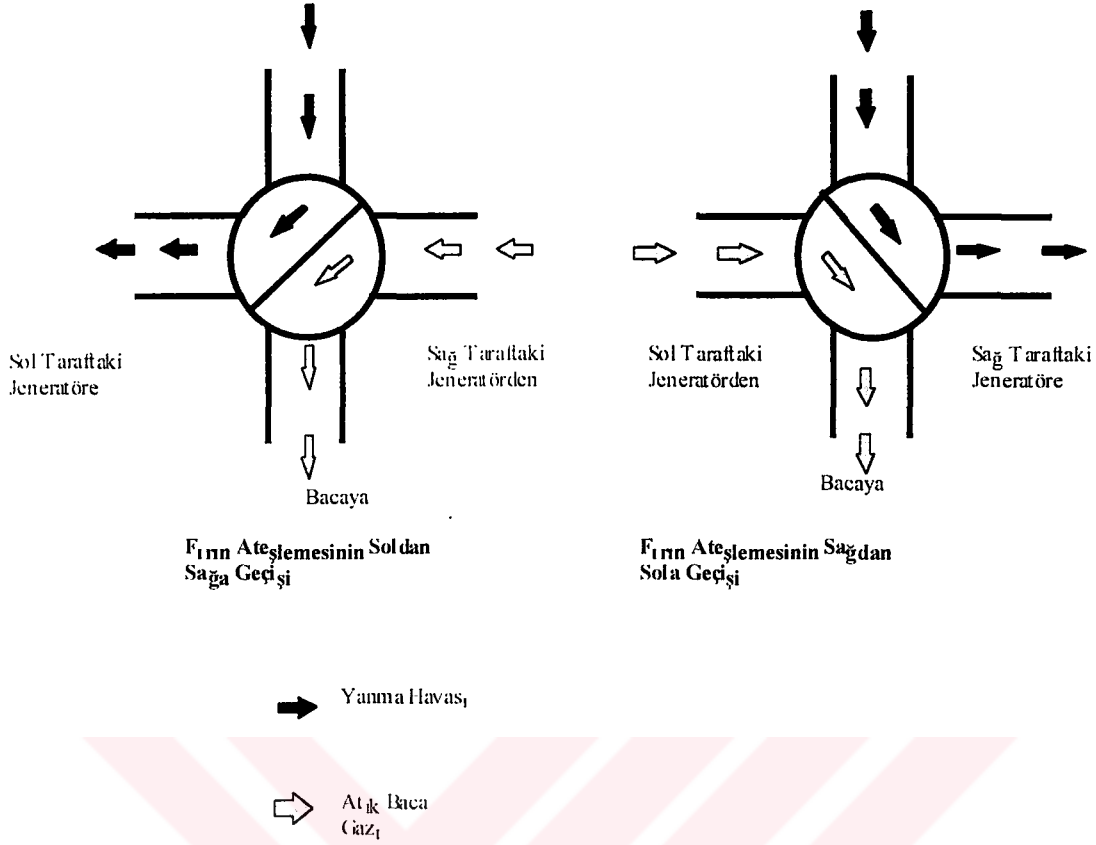
Harmanın fırına atmaya yarayan bölümdür. Vidalı besleyiciler için kullanılan kapalı tip besleme ağzlarının üst yapısında, fırın silosunun açıklığından biraz daha büyük olan dairesel bir açıklık vardır. Harman besleyici bir kere yerleştirildikten sonra aradaki açıklık seramik elyaf ile kapatılır (Günther R., 1958).

4.2.3 Portlar

Yanma havasının fırına girişine ve baca gazının fırından atılmasına yarar. Kenarları birbirine paralel olan birinci bölüm ve kesit alanı fırına yaklaştıkça daralan ikinci bölümden oluşur. Kesitteki bu daralma, hem yanma havası hızının artması hem de yakılacak yakıtla hızla karışması için yönlendirilmesine yarar (Günther R., 1958).

4.2.4 Baca Kanalları

Baca kanalları, atık ısı geri kazanım sistemlerini bacaya bağlar. Rejenaratörlü fırınlarda, çıkış baca kanalının bacaya giden yolu üzerinde bir inversiyon klapesi bulunur. Herhangi bir anda atık gazları tehliye etmek üzere sadece bir tane kanal kullanılır, diğer kanal inversiyon klapesinden geçerek gelen hava içindir. Şekil 4.5' de rejenaratörlü bir fırının hangi taraftan ateşlendiğine bağlı olarak atık baca gazları ve yanma havasının geçtiği yollar görülmektedir.



Şekil 4.5 Kanal inversiyonu
(Günther R., 1958)

4.2.5 Boğazlar (throat)

Ergitme havuzu ile çalışma havuzu arasında yer alan dar bir geçittir. Şarlandırılmış camda ergimemiş maddelerin bulunmamasını sağlar. Bütün camın bu geçitten geçmesi nedeni ile önemli ölçüde aşınma meydana gelir. Yapımında yüksek nitelikli reflektör malzeme kullanılmalı ve birleşim ara kesitlerinin sayısı minimumda tutulmalıdır (Günther R., 1958).

4.2.6 Camla Teması Olan Diğer Bölümler

Fırın tabanları, yan duvarları ve forehearth kanalları camla teması olan diğer bölümlerdir. Fırın tabanları birden fazla bloktan oluşmuştur. Birden fazla tabaka kullanılması halinde plakalar şaşırtmalı olarak dizilmelidir. Fırın yan duvarlarını oluşturan bloklar uzunlamasına dik konumda yerleştirilen bloklardır. Forehearth kanalları yalıtım üzerine yerleştirilir (Günther R., 1958).

4.2.7 Fırın Üst Yapısı, Yan ve Arka Duvarları

Bu duvarlar, fırının yanma hacmini meydana getiren yapıyı oluştururlar ve hemen her zaman soda-kireç-silis camları için AZS, borosilikat camları için mullite reflektör malzemesinden yapılmış bloklarla örülürler (Günther R., 1958).

4.2.8 Fırın Destek Yapısı

Bu yapı fırını destekler ve blok örgülerindeki yatay kuvvetlerle fırın içindeki camın fırın yan duvarlarına yaptığı hidrostatik basıncı karşılar (Günther R., 1958).

4.2.9 Fırının Genel Çelik Yapısı

Fırın tabanı, kanal ve kesişim bölgelerinden oluşan çelik bir ızgara üzerine oturur. Fırın kemer ve üst yapısı belli aralıklarla yerleştirilmiş çelik yatay taşıyıcı saplamalarla, dikme ve kirişlere sabitlenmiştir (Günther R., 1958).

4.2.10 Cam Seviyesi Hattının Soğutulması

Bu işlem, cam banyosu içindeki taşınım akımlarını arttırmak ve fırın yan bloklarındaki aşınmayı azaltmak için yapılır. Etkin bir soğutma için, her metre başına 150 mmss basıncındaki havanın en az 56 m³/dak bir debi ile kullanılması gerekir. Soğutma kanallarının ucundaki "nozzle"lar özellikle fırındaki cam seviyesi hizasında fırının 100 mm uzağa yerleştirilirler.

4.2.11 Eski Fırın Yapıları

Sistem tabanı alt taraftan kontrolüne izin verecek şekilde, çelik bir çerçevenin üstüne inşa edilir. Eski tip fırınlarda ise, fırın tabanı doğrudan rejeneratörlerin üstüne inşa edilmekteydi. Havuzlar ve taban tuğlaları arasında soğutma kanalları yerleştirilirdi. Bu soğutma kanallarını düzenlemesinde bir fan veya baca çekiş sistemi kullanılırdı. Böylece taban tuğlaları ve özellikle bağlantı noktalarının sıcaklığını düşürmek için hava sirkülasyonu oluşturulurdu. Isının yerel

olarak birikmesini önlemek için soğutma kanalları duvarlarında tuğlaların birleşim noktaları mümkün olduğunca küçük şekilde tutulurdu. Çok kötü durumlarda ise iyi soğutulmayan birleşim noktalarında cam çok ısınır ve camdan daha az yoğunluğu olan taban tuğlalarını yerinden oynatır, havuzun içindeki bütün camın boşalmasına neden olabilirdi. Bu sorun genellikle eski fırınlarda sıcaklık değişimleri sonucu bazı tuğlaların yerinden oynamasıyla meydana gelirdi. Bununla birlikte istisna olarak tabana sıkı sabitlenmeyen yeni yapılmış fırınlarda da görülebilirdi. Ergimiş camın yatay olarak yan tuğlaların üstündeki hidrostatik basıncı, değişik yüksekliklerde tuğlalar arasında ortaya çıkan sürtünmeyle kısmen karşılanırdı. Yatay bağlantı noktalarına işleyen ve burada katılan cam, tuğlaların yerinde tutulmasına yardım ederdi. Bununla birlikte tuğlaların yerinde tutulmasında bu kuvvetler yetersiz ve güvenilmezdi. Bu nedenle bugün tuğlalar fırını tutan çelik çerçevelere vidalanarak veya sıkıştırılarak, güvenlik sağlanır. Çelik çerçeveler de çelik çubuklarla birbirine bağlanır (Günther R., 1958).



5. CAM SANAYİNDE ENERJİ KULLANIMI

5.1 Literatürde Cam Sanayinde Enerji Dağılımı

Cam eldesi enerji yoğun bir işlemdir. Bu yüzden, enerji kaynağı türü, ısıtma tekniği, ısı geri kazanım metodu gibi hususlar fırın tipi seçimi ve tasarımında önemli rol oynar. Genel olarak, ergime işleminde kullanılan enerji kaynakları aşağıda verilmiştir. Bir cam tesisinde proses gereği farklı fuel-oil, doğal gaz, elektrik gibi kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Örneğin bir şişe-cam tesisi için enerji miktarları ve tüketilen miktarlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Örnek alınan bir şişe-cam fabrikasında enerji tüketiminin proses ve yakıt türüne göre dağılımı

x10 MJ/ton cam							
	Fuel-oil	Gaz yağı	LPG	Hava Gazı	Elektrik	Toplam	%
Harman	-	-	-	-	6	6	0,58
Egitme	677	-	-	-	71	748	71,03
Forehearth	7	-	62	-	3	85	6,89
Şekillendirme	-	-	-	0,3	112	119	10,70
Tavlama	-	-	42	-	12	52	4,95
Baskı	-	-	26	0,4	6	33	3,16
Paketleme	-	-	-	-	2	2	0,19
Diğer	0,2	0,1	1	0,6	15	18	1,63
Toplam	685	0,1	130	1,3	237	1109	-
%	65,05	0,01	12,31	0,12	22,54	-	100.00

(Akgün ve Çoban, 1997)

Sektörde daha önceleri ağırlıklı olarak fuel-oil kullanmakta iken, son dönemde doğal gaz kullanımı artmaya başlamıştır. Bazı fırınlar hem fuel-oil hem de doğal gaz kullanabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

Genel olarak, bir cam fabrikasında cam ergitme için kullanılan enerji, fabrika bünyesinde toplam

olarak tüketilen enerjinin yaklaşık %75-85'ini oluşturmaktadır. Farklı cam fabrikaları için enerji tüketim dağılımları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüleceği gibi cam türü ve fabrika işletme parametrelerine bağlı olarak enerji dağılımında büyük farklar olabilmektedir.

Çizelge 5.2 Farklı tipte cam üretiminde tüketilen enerjinin proseslere dağılımı

Enerji Tüketim Noktaları	Ambalaj Camı Üretimi (%)	Fiber Cam Üretimi (%)	Kristal Cam Üretimi (%)
Fırın	79	80	85
Ağız soğutma	2		
Foreheart	6		
Basınçlı hava	4		
Tavlama	2		3
Conversiyon		11	
Hacim ısıtma			6
Şekillendirme		4	2
Diğer	7	5	4
Toplam	100	100	100

(Akgün ve Çoban 1997)

Sektör geneline bakıldığında özellikle bu çalışmanın ana konusu olan ergime süresi için, ana enerji kaynağı olarak doğal gaz veya fuel-oil kullanılmaktadır. Elektrik kullanımı ise daha küçük bir yüzde oluşturmaktadır.

Cam ergitme prosesinin verimliliğini irdelemek için, ergitme işlemi için teorik olarak ne kadar enerjiye gereksinim olduğunun bilinmesinde yarar vardır. Çok kullanılan üç ayrı cam türü için teorik enerji ihtiyaçları Çizelge 5.3 'de verilmiştir.

Çizelge 5.4' de verilen değerler arasında reaksiyon ısısı, hammaddeden camı oluşturmak için gerekli ısı; camın entalpisi, camı 20 °C' tan 1500 °C' a çıkarmak için gerekli duyulur ısı; açığa çıkan gazın entalpisi olarak da ergime sırasında açığa gazların (özellikle karbondioksit) duyulur ısısı olarak alınmıştır.

Çizelge 5.3 Üç farklı cam için ergitme işleminde gerekli olan teorik enerji ihtiyacı

	Soda- Kireç- Silis (Düz/Ambalaj Cam) GJ/ton	Borosilikat (%8 B ₂ O ₃) GJ/ton	Kurşun Silkat (%19 PbO) GJ/ton
Reaksiyon ısısı	0,49	0,41	0,40
Camın entalpisi	1,89	1,70	1,69
Açığa çıkan gazın entalpisi	0,30	0,14	0,16
Toplam Enerji	2,68	2,25	2,25

(Akgün ve Çoban, 1997)

Gerçek enerji ihtiyacı cam türüne, fırın dizaynına, fırın boyutlarına ve işletme şartlarına bağlı olarak 3-40 GJ/ton gibi büyük bir aralıkta olabilmektedir. Bununla birlikte, üretimde çoğunlukla büyük fırınlar kullanıldığı için, bu değer çoğu zaman 8 GJ/ton'un altında kalabilmektedir. Çizelge 5.4'de değişik cam türleri için özgül enerji tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.4 Değişik cam türleri için özgül enerji tüketimi değerleri

Cam Türü	Özgül enerji tüketimi GJ/ton ergimiş malzeme	Özgül enerji tüketimi GJ/ton son ürün
Ambalaj (konteyner) camı	4,5-7	6,5-9
Fiber cam	11-23 (30)	18-33
Kurşun kristal cam	50-55	55-60

(Akgün ve Çoban, 1997)

Cam sektöründe, yüksek sıcaklık ve yoğun enerji kullanımının doğal bir sonucu olarak ısı kaybı yüksek değerlere çıkar. Ancak teknolojik gelişmeler sonucu, özellikle oldukça önemli büyük boyutlu rejeneratif fırınlardaki enerji tüketimi, teorik olarak mümkün olabilecek minimum sınıra yaklaşmıştır ve ısı kayıplara minimuma indirgenebilmiştir.

Gelişmiş bir rejeneratif fırının ısı etkenliği %40-%50 civarındadır (maksimum değer %60'dır) (Akgün ve Çoban, 1997). Böyle bir fırında bacadaki enerji kaybı %20' ler düzeyindedir. Geri

kalan miktar da yüzey ve diğer kayıplar nedeni ile oluşur. Bu kayıplar fırının boyutuna bağlı olup; fırının yüzey/hacim oranı ile doğrusal olarak değişmektedir.

Fosil yakıt kullanılan bir fırında enerji tüketimini etkileyen başlıca faktörler aşağıdadır:

- a) Fırının nominal kapasitesinin, birim ürün başına tüketilen enerji üzerinde (spesifik enerji) oldukça önemli bir etkisi vardır. Bunun nedeni fırının yüzey/hacim oranı fırının nominal kapasitesi ile değişmesidir.
- b) Fırın kapasitesi azaldıkça, fırının verimi düşmekte ve dolayısı ile spesifik enerji tüketimi artmaktadır.
- c) Fırının yaşı arttıkça, fırının etkenliği düşer. Ömrünü tamamlamış bir fırın, yeni bir fırına oranla yaklaşık %20 oranında daha fazla enerji tüketmektedir.
- d) Ek elektrik enerjisi kullanımının temel nedeni fırının ısı verimini arttırabilmektedir. Ancak elektrik enerjisinin daha pahalı olması nedeniyle, bu durum ekonomik açıdan yarar yerine zarar getirebilir. Bu yüzden sadece prosesin gerektirdiği yerlerde kullanılır (Akgün ve Çoban, 1997).
- e) Atık cam kullanımı enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Genel olarak hammadde beslemede kullanılan atık camın miktarındaki %10' luk bir artış, enerji tüketiminde %2-3 oranında azalma sağlar.
- f) Oksi-yakıt kullanımı özellikle küçük fırınlarında enerji tüketimini azaltmaktadır. Bunun nedeni azotun alev sıcaklığına kadar ısıtılma zorunluğunun olmamasıdır Yanma ortamındaki azotun azaltılması ile atık gaz miktarında %60-80 oranında düşüş sağlanabilir (Akgün ve Çoban, 1997).

5.2 Dünyada Cam Sanayi ve Enerji

1990 yılında Avrupa Topluluğunda üretilen yaklaşık 23 milyon ton camın %25' i düz cam olmuştur. Bu miktarda camı üretmek için 229 PJ enerji tüketilmiştir. En büyük cam üretimi %66' lık bir oran ile ambalaj camında olmuştur (Flanagan, 1992; Barton ve Merlin, 1993).

En büyük cam üreticisi ülke %27 ile Almanya, kişi başına en fazla cam üreten ülkeler ise 173 kg/kişi olmak üzere ile Lüksemburg ve Belçika'dır. Avrupa Topluluğunda kişi başına ortalama cam üretimi ise 70 kg/kişi düzeydedir (Flanagan, 1992; Barton ve Merlin, 1993). Belçika, Avrupa Topluluğunun cam üretiminin %7' sini, düz cam üretiminin de %21' ini gerçekleştirmektedir. Ton başına tüketilen enerji ise bir tek büyük ve modern ambalaj camı fabrikası olan Danimarkada 8,5 GJ/ton olurken, daha çok kristal üretimi ile uğraşan İrlanda'da 17,5 GJ/ton' a kadar çıkmaktadır. ABD için ise toplam üretim 16,1 milyon ton ve 64,5 kg/kişi olmuştur. Japonya ise, Avrupa Topluluğu ve ABD' ye göre 39 kg/kişi ile daha az cam üretmekte/tüketmektedir

Düz camda ise Avrupa Topluluğu, ABD ve Japonya' da kişi başına üretim birbirine yakındır. Düz camın uzun mesafelere nakliyesi zor olduğu için, her ülke kendi camını üretmek zorundadır, Bu nedenle adı geçen ülkelerde ve Avrupa Topluluğunda cam üretim rakamları 13,9-17,5 kg/kişi arasındadır. Avrupa Topluluğu' nda üretilen düz camın, ABD' de üretilenden farkı, mimaride kullanılan renkli camlar ve otomotiv sanayinde kullanılan ısı emen camların daha fazla üretilmesidir. Avrupa Topluluğunda üretilen düz camın yaklaşık % 17' si otomobillerde kullanılmaktadır (Flanagan, 1992; Barton ve Merlin, 1993).

5.2.1 Belçika' da Cam Sanayinin Enerji Dağılımı

Dünya cam üretimi fiyatlarındaki artışın en önemli nedeni enerji giderlerindeki artıştır. Bu durum Belçika için Çizelge 5.5' de görülebilir.

Çizelge 5.5 Belçika'da cam üretimi maliyeti

	10 ⁶ Belçika Frankı				Enerji
Yıl	Hammadde	İşçilik	Enerji	Toplam	Maliyeti Artışı
1973	6166	8118	1068	15352	100,0
1976	8994	10774	2150	21618	143,0
1979	10152	12002	2612	24766	151,6
1981	11930	12616	4415	28961	219,0

(Michaux ve Tomas, 1985)

Cam üretimi gelişmiş olan Belçika' da, tüm sanayide tüketilen enerji bazında elektriğin %2' si, doğal gazın ve havagazının %7,7' si ve fuel oil' in %7,9' u cam sanayinde tüketilmektedir. Düz cam sanayinde elektrik tüketimi, diğer tip cam çeşitlerine göre azdır. Belçika'da düz cam sanayi, bütün cam sanayinin tükettiği elektriğin %60' ını, doğal gaz ve fuel oil' in %95' inden fazlasını tek başına tüketmektedir (Michaux ve Tomas, 1985). Belçikada düz cam üretiminde tüketilen enerji dağılımı Çizelge 5.6' den görülebilir.

Çizelge 5.6 Belçika' da düz cam üretiminde enerji dağılımı

Enerji Kullanımı (%)	Elektrik	Doğal Gaz ve Fuel Oil	Buhar ve diğer yakıtlar	Toplam
Proses				
Karıştırma	0,2	-	-	0,2
Ergitme	1,0	81,6	- 2,6	80
Şekillendirme	3,5	3,0	0,5	7,0
Yardımcı İşletmeler				
Basınçlı Hava	0,2	-	-	0,2
Su Dağılımı	0,3	-	-	0,3
Isıtma Havalandırma	0,2	2,6	7,8	10,6
Diğer	1,3	0,1	0,2	1,7
Toplam	6,7	87,3	6,0	100,0

(Michaux ve Tomas, 1985)

Çizelge 5.7' de ise düz cam üretiminde kullanılan enerjinin diğer camların üretimlerinde kullanılan enerji tüketimi ile karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5.7 Çeşitli tür camların üretiminde gerçekleşen enerji tüketimi

Cam Türü	Elektrik (GJ/t)	Doğal Gaz ve Fuel Oil (GJ/t)	Toplam (GJ/t)	Üretim Verimi (%)	Toplam Enerji Tüketimi (GJ/t)
Düz Cam	0,1	9,3	9,4	79	11,9
Ambalaj Camı	0,3	7,4	7,7	69	11,2
Fiber Cam	2,0	20,4	22,4	87	25,7
Köpüklü Cam	1,2	6,4	7,6	62	12,3

(Michaux ve Tomas, 1985)

5.2.2 Britanya' da Cam Sanayinin Enerji Dağılımı

Britanya cam sanayinin tüm sanayinin enerji tüketimindeki payı yaklaşık %2,5' dur (demir çelik sanayi hariç) (Bevan ve Deakin, 1985). Bu sanayide tüketilen enerjinin toplam maliyeti yılda 225 milyon \$ civarında olup toplam maliyetini önemli bir kısmını oluşturur. Örneğin, ambalaj camının üretiminde, enerjinin toplam maliyet içindeki payı %20' nin üzerindedir. Kuvvetli rekabet ortamında, enerji fiyatları düşürülmesinin önemi büyüktür. Britanya Enerji Bakanlığı Enerji Verim Bürosu, cam sanayinde enerji verimini arttırmak için çok sayıda proje yapmıştır(Bevan ve Deakin, 1985).

Çizelge 5.8 bize 1970'den 1982'ye kadar Britanya cam sanayisinin enerji tüketim rakamlarını vermektedir. Aynı çizelgede on yıl süresince düzenli olarak düşen spesifik enerji ihtiyacının sürekli düşüşü de gözlemlenebilir. Gelişmenin önemli nedenlerinden biri, kullanımın küçük fırınlardan büyük fırınlara doğru değişimidir. Ayrıca fırın yalıtımı, rejeneratör dizaynı ve kontrol yöntemlerindeki değişiklikler de bu düşüşü hızlandırmıştır.

Çizelge 5.8 Britanya' da cam sanayinde enerji kullanımı

Yıl	Üretim (10 ⁶ ton/yıl)	Toplam Enerji (10 ⁶ GJ/yıl)	Spesifik Enerji (GJ/ton)
1970	2,513	50,64	20,15
1971	2,646	55,20	20,86
1972	2,748	53,69	19,54
1973	3,064	52,87	17,26
1974	2,913	53,32	18,30
1975	2,756	45,13	16,38
1976	2,848	47,44	16,66
1977	2,974	48,94	16,46
1978	3,078	46,79	15,20
1979	3,065	48,00	15,66
1980	2,898	42,49	14,66
1981	2,634	38,84	14,75
1982	2,490	36,00	14,46

(Bevan ve Deakin, 1985)

Bu spesifik enerji, endüstrinin değişik sektörlerinin ortalamasından elde edilmiştir. Örnek olarak makinalaştırılmış sürekli akış prosesi kullanılarak üretilen ambalaj camında, spesifik enerji 11,6 GJ/ton olurken, el emeği kullanılarak potada üretilen kristal camda bu rakam 90-173 GJ/ton' a çıkar.

Britanya' da enerji bakanlığı tarafından cam sanayinde enerji tasarrufu amaçlı 253 proje geliştirilmiş, bu projeler için 31 milyon \$ harcamış, sonuç olarak 13 10⁶ GJ/yıl enerji tasarrufu sağlanmıştır. Uzun dönemde enerji tasarrufunun 105 10⁶ GJ/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bu projelerden bazıları Ek1' den görülebilir. Bu projeler için kanun tarafından harcanan para 450000 \$ dolaylarındadır.

5.3 Cam Ergitme Fırınlarının Performansları

Cam üretiminin en önemli özelliklerinden birisi cam türüne göre günlük üretim kapasitelerindeki büyük fark, buna bağlı olarak kullanılan farklı ekipman ve üretim teknikleri ve bunların doğal sonucu olarak ton başına enerji tüketimindeki oluşabilen uçurumlardır.

Burada örnek olarak düz cam üretimi ele alınmaktadır. Ancak, benzer yaklaşımla her tür cam üretimi içinde sonuçlar elde edilebilir.

Bir fırının enerji akış diagramı Şekil 5.1' de gösterilmiştir. Bu şekilde

Q_F = yakıt enerjisi

Q_A = ön ısıtılmış havanın enerjisi

Q_G = cama geçen enerji

Q_R = fırın yapısından çevreye yitirilen enerji

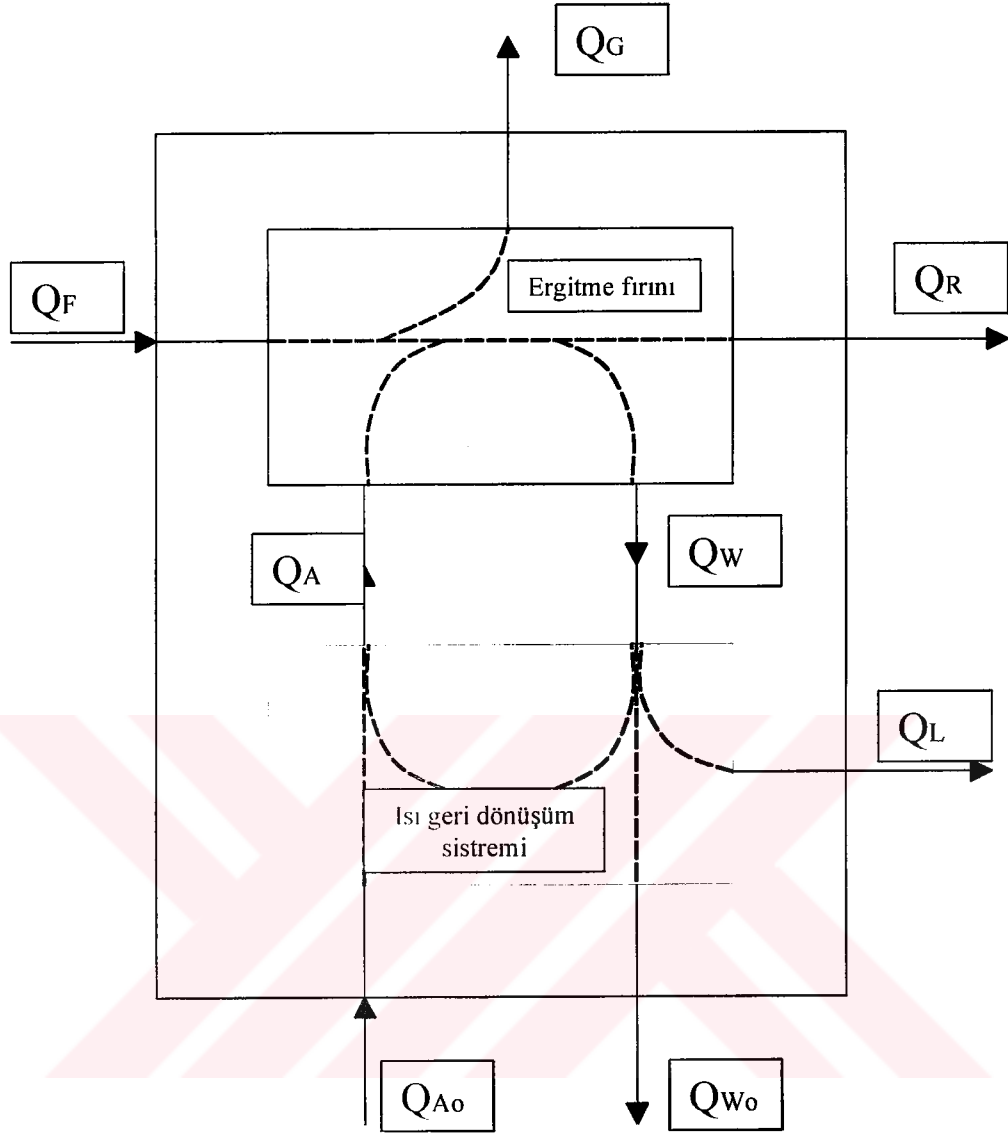
Q_W = baca gazından atmosfere atılan ısı enerjisi

Q_L = ısı geri dönüş sistemi yapısından ortama geçen enerji

Q_{W0} = sistemden atık gazla dışarı atılan enerji

Q_{A0} = ısı geri kazanım sistemine giren enerji

yi göstermektedir. Isı geri dönüşümü içeren bir sistemde üç temel ısı dengesinden bahsedilebilir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Fırın sisteminde enerji akış diyagramı
(Sismey 1983)

1. Ergitme fırını için

$$Q_F + Q_A = Q_G + Q_R + Q_W$$

(Sismey 1983)

2. Isı geri dönüşüm sistemi için

$$Q_W + Q_{Ao} = Q_A + Q_L + Q_{wo}$$

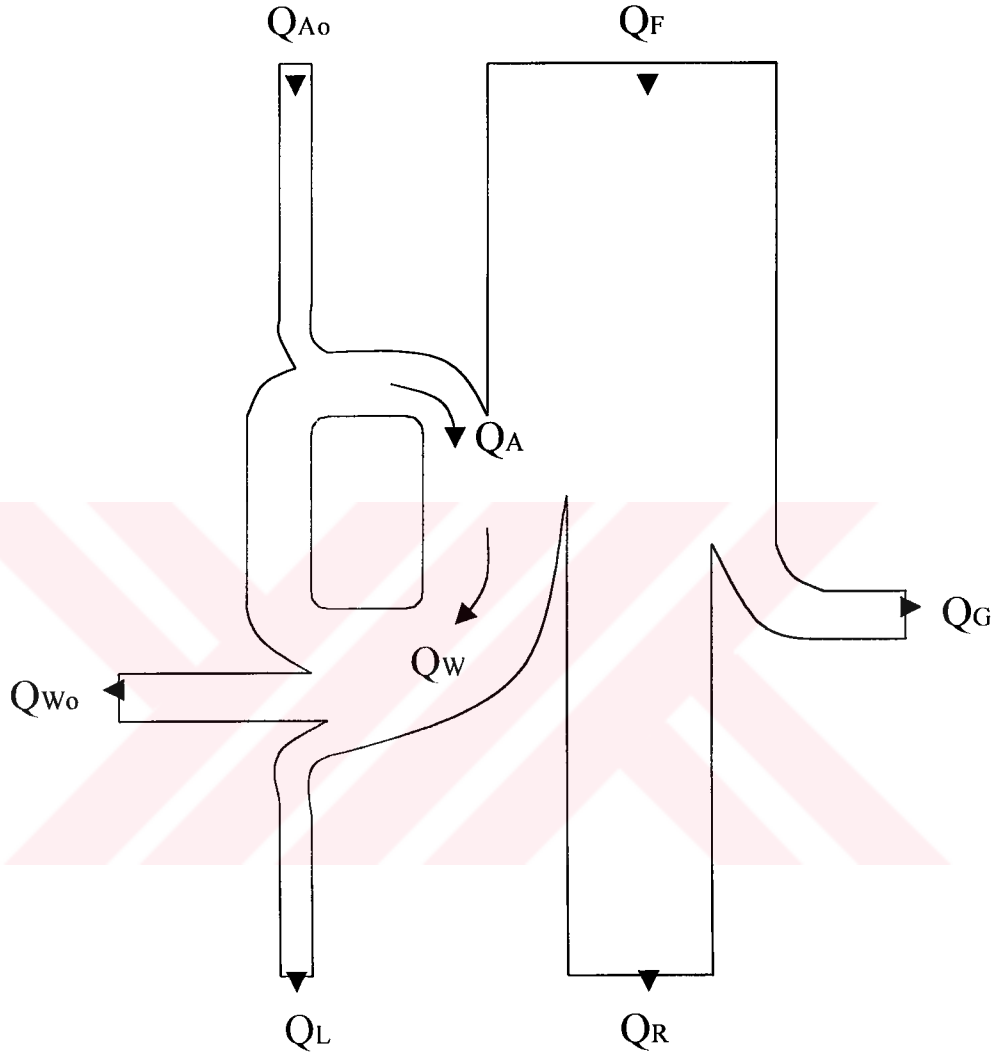
(Sismey 1983)

3. Tüm sistem için

$$Q_F + Q_{Ao} = Q_G + Q_R + Q_L + Q_{wo}$$

(Sismey 1983)

Yukarıda elde edilen enerji dengesi, yakıt, hava ve harman malzemelerinden oluşan üç ana girdinin termodinamik hesaplarını tek bir eşitliğe indirir. Bu eşitlik Şekil 5.2’de gösterilen Sankey diyagramıyla ifade edilebilir



Şekil 5.2 Fırın sisteminde Sankey diyagramı
(Sismey 1983)

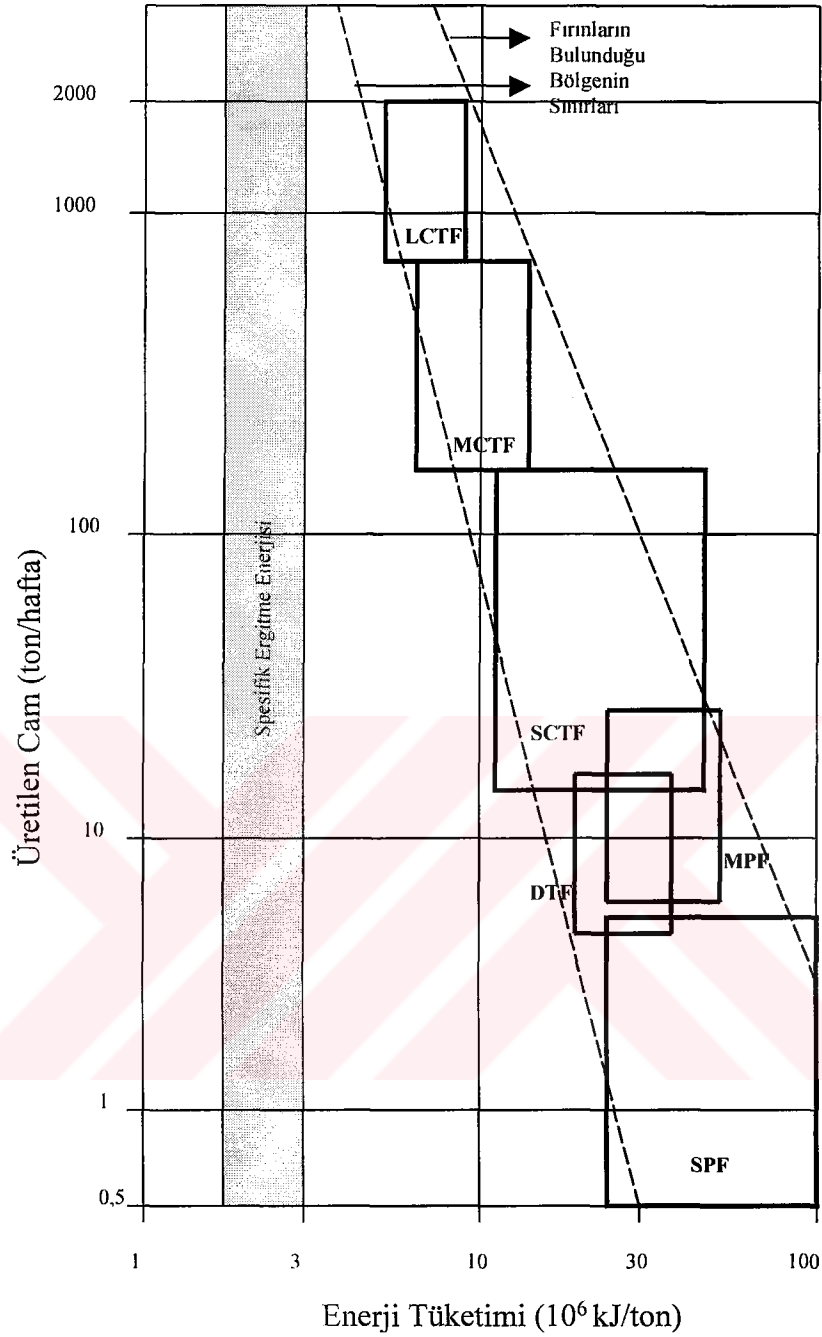
Yakıtın kalorifik değeri, cam ve camı oluşturan hammaddelerin spesifik ısıları, yakıt ve havanın reaksiyon ısısı, fırın sisteminde oluşan enerji dengesi ve miktarlar üzerinde belirleyici etkindir. Benzer olarak belirli bir camda, fırın sisteminden ısı geri dönüşüm sistemi (rejeneratör, reküperatör vb.) ile geri alınabilen enerji miktarı, camın özellikleri, ısıl kapasite ve termal

kondüktivite gibi yapının termodinamik özellikleri de fırın sisteminden kaybolan yada fırın sisteminde tutulabilen enerji miktarı üzerinde belirleyicidir.

Ergitme prosesinin her farklı adımı için enerji tüketimi ayrı ayrı hesaplanır. Bununla birlikte ergitme prosesi süreklilik gösterir ve birbirini tamamlayıcı nitelikte adımlar farklı işlemler olarak kabul edilemez. Ergitme prosesi üç alt prosese bölünebilir:

Alt Proses I

İlk adım, cam kırığı ve/veya harmanın fırına giriş sıcaklığından, camın ergime sıcaklığına kadar yükselmesi için gerekli olan ısı miktarıdır. Bir soda-kireç-silis camı için cam kırıklarının tekrar ergitilerek cam elde edilmesi halinde, enerji tüketiminin miktarı, ortalama sıcaklık 1400°C alınarak, 1730×10^3 kJ/ton olur. Cam yalnızca harmandan elde edilirse, iki faktörün daha göz önünde bulundurulması gerekir. Bu faktörlerden birincisi, kimyasal reaksiyonlar ve harmanı oluşturanların birleşmesi için gerekli ısı enerjidir. Örneğin %100 harmandan oluşan soda-kireç-silis' in ergimesi için reaksiyon enerjisi 686×10^3 kJ/ton olur. İkinci olarak da, reaksiyon nedeniyle çıkan gazların sıcaklığını, harmanın gaz fazı oluşumundaki sıcaklık düzeyinden, baca gazı sıcaklığına kadar arttırılması adımıdır. Örneğin, soda-kireç-silis camında bu enerji 400×10^3 kJ/ton dolaylarında olacaktır. Böylece camın %100 harman kullanılarak oluşması durumunda toplam enerji, 2817×10^3 kJ/ton olur. Isı geri kazanım sistemi yoluyla reaksiyon sonucu oluşan gazın ısısının bir bölümü geri kazanılabilir. Eğer %50'lik bir geri dönüşüm sağlanır ise, toplam net ısı tüketimi 2617×10^3 kJ/ton olur. Bununla birlikte, ergitme işlemlerinin çoğunda, fırına atılan hammaddenin içine bir miktar cam kırığını katılır, bazı camlar ise tamamen harmandan elde edilirler. Bazı özel işlenmiş ve renklendirilmiş camlar geri dönüştürülemez. Bununla birlikte cam kırıkları tamamen ergidiği durumda, sert soda-kireç-silis camı için teorik enerji miktarı maksimum 3165×10^3 kJ/ton, minimum 1793×10^3 kJ/ton dur. Ergiyen camın tipine göre kullanılan cam kırığı oranına karar verilir, spesifik ergitme enerjisi saptanır ve Şekil 5.3' de kesik çizgiler ile gösterileni iki limit değer arasında yer alır. Yine Şekil 5.3' de haftalık üretim miktarına karşılık, ton başına enerji tüketimi verilmiştir. Birçok fırın tipinin enerji tüketimi de görülebilir.



Şekil 5.3 Fırın tiplerine göre spesifik enerji tüketimi
(Sismey 1983)

Çizimi oluşturmak için örnek alınan fırınların verilerinin, kesikli çizgilerle belirlenmiş iki limit arasında rastgele dağıldığı görülmüştür. Buradaki fırınlardan solda kalanlar sağda kalanlara oranla daha az enerji kullanırlar. Başka bir deyişle bu fırınların aynı miktar üretim yapanları

arasında solda olanlarının verimleri daha yüksek olur.

Cam sanayinde kullanılan fırınların performansları karşılaştırıldığında, Şekil 5.3' de dikdörtgenlerle gösterilen fırın tipleri için, verilerin bazı ilginç sonuçlar ortaya çıkar. Bir ve iki potalı fırınlar en alttaki dikdörtgende SPF olarak, günlük tanklar DTF, çok potalı fırınlar MPF olarak gösterilmiştir. Sürekli tank fırınlarında ise küçük boyutlular SCTF, orta boyutlular MCTF, büyükler LCTF olarak gösterilmiştir.

Fırın verileri teorik termodinamik performans değerler ile tam olarak paralellik göstermeyeceği hususu Şekil 5.3' le açıkça ifade edilmektedir. Örnek olarak, küçük tank ve pota fırınlarının verimlerinin, kesikli olarak cam ergiten aynı miktarda sürekli üretim yapan iyi çalışan küçük fırınlarla karşılaştırılması mümkün değildir.

Alt Proses II

Bu adımda söz konusu olan enerji, fırını proses sıcaklığında çalışır durumda tutmak için gerekli olan miktardır. Yakıt yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerji, yanma ürünlerinden veya alev sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta bulunan fırın ortamına geçer. Birincil (initial) enerji, yakıtın kalorifik değerine, hava ön ısıtma sıcaklığına ve çekilen havanın miktarına bağlı olarak yanmayla oluşur. Fırından enerji ayrılması ürün ve baca gazı çıkışı ile olur. Baca gazı ile ayrılan enerji, baca gazı sıcaklığına, baca gazı kompozisyonuna ve hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Böylece fırının ısıtma bölgesine geçen ısı, birincil enerji ile baca gazı enerjisinin farkıdır; "faydalı enerji" olarak da adlandırılır. Eğer faydalı enerji, birincil enerjiye bölünürse, yanma verimi ortaya çıkar.

$$\varepsilon = \frac{(Q_F + Q_A - Q_W)}{Q_F} \quad (\text{Sismey 1983})$$

Diğer bir deyişle, bu faktör, fırının ısıtma bölümündeki sıcaklık düzeyini korumak ve camı ısıtma için gerekli enerjinin yakıt enerjisine oranı olarak açıklanır. Hava fazlalık katsayısı arttıkça yanma verimi düşer, buna karşılık yanma havası ön ısıtma sıcaklığı arttıkça yanma verimi artar. 1200°C' ye ısıtılan yanma havası ve %5 hava fazlalık katsayısı ile çalışan bir fırında baca gazı 1600°C' de atılırsa, teorik yanma verimi %74 olur. Benzer olarak 600°C' de ısıtılan

yanma havası ve %25 hava fazlalık katsayısı ile çalışan bir fırında baca gazı sıcaklığı 1300°C' olur ise teorik yanma verimi %60 lara geriler.

Yanmada teorik alev sıcaklığına ulaşamaz. Verimin anılan değere ulaşmamasının nedeni de, alev reaksiyonundaki yanma işleminin tamamlanmaması veya tamamlansa dahi alevde gözükten ayrışma ve ısı absorpsiyonudur. Enerji kayıplarının nedenlerinin biri de, potansiyel alev sıcaklığı nedeni ile azalan radyasyonla meydana gelir. Doğal gaz ile, ısıtılmamış kuru hava arasında tam yanma olduğunda, yaklaşık 2000°C' de teorik alev sıcaklığı oluşur. Bozunma, sıcaklığın 1950°C' ye kadar çıkmasına izin verir, fakat en iyi deneysel sıcaklık değerinin sadece 1900°C' olduğu gözlemlenmiştir..

Alt Proses III

Bu alt prosesde, ısı geri dönüşüm sisteminin verimi ele alınmaktadır. Baca gazının 1500°C' de fırından atıldığı durumda; ön ısıtılmış yanma havası 1000°C' ye ulaştığında, teorik verim %72; ön ısıtılmış yanma havası 500°C' ye ulaştığında teorik verim %54, ısıtılmamış hava kullanıldığında durumda ise teorik verimin sadece %38 olarak gerçekleşir. Yani, ısıtılmamış hava kullanan fırın, 1000°C' de ön ısıtılmış hava kullanan fırına göre yaklaşık iki kat yakıt tüketir. Bu durum, ısı geri dönüşüm ekipmanının önemini açıkça gösterir.

Değişik ısı kapasitesine sahip iki ortam arasında karşılıklı aktarılan ısı enerji miktarında bir sınır olmalıdır. Cam ergitme fırınlarının çalışma sıcaklığında, havanın ısı kapasitesi, baca gazının ısı kapasitesinin %84' üdür. Yani bu değer, geri dönüşebilen ısı miktarının, baca gazı ısı kapasitesinin %84' üyle sınırlandırılması anlamına gelir. Bu oran aşağıdaki ilişkiyle açıklanabilir.

$$\sigma = \frac{Q_A}{Q_W} \quad (Sismey 1983)$$

Bu eşitliğin maksimum değeri %84' dür. Böylece, baca gazı ile taşınan ısı enerjinin en az %16' sı ön ısıtılmış yanma havasına aktarılamaz.

Şimdiye kadar incelenen ve fırın performanslarını belirleyen üç değişken, öncelikle fırın ortamının termodinamik özelliklerine bağlıdır. Ayrıca fırın duvarını oluşturan tuğlalar ve yalıtım maddelerinin özellikleri ve ömrü de çok önemlidir.

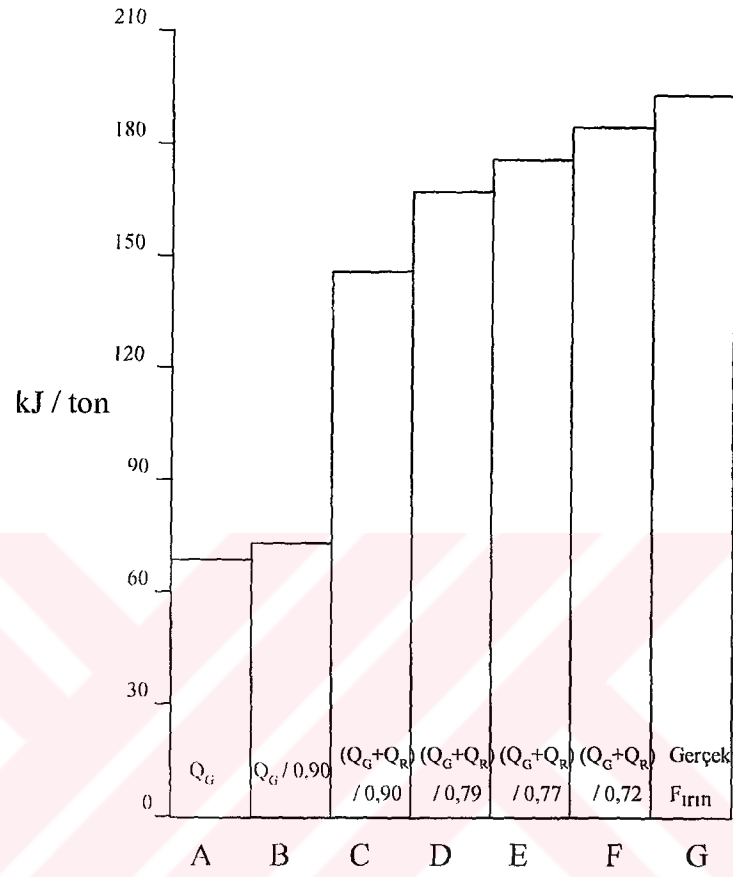
Teorik olarak, sonsuz kalınlıkta yalıtımı yapılabilir ve fırın yapısının bütün delikleri kapatılabilir. Böylece fırın duvarlarındaki ısı kaybı sıfıra düşürülebilir. Pratikte ise durum farklıdır. Fırın yapısının seçiminde asıl belirleyici olan, termodinamik özelliklerin yanısıra ekonomik faktörlerdir. Parametreler yapının çeşitli bölgelerinde değişir. Örneğin fırının ergitme bölümünde 2400°C 'nin üstünde alev sıcaklığına dayanması gereken dahili yapı malzemeleri kullanılır. Burada en önemli faktör malzemenin uzun yıllar boyunca özelliğini kaybetmeden işlevini sürdürebileceği sıcaklıktır. Silika tuğlalar yaklaşık 1700°C 'de yük altında, %10 deformasyonla test edilir. Böylece uygulamada ne kadar kalınlıkta yalıtım malzemesi kullanılması gerektiği ortaya çıkar.

Bütün bu faktörler üzerinde, adım adım çalışılarak ve bu çalışmayı bir sürekli tank fırını modeline uygulayarak, teorik olarak performansı en iyi model bulunabilir. Bu model için aşağıdaki kabuller yapılır:

- a) Cam ergimesinde soda-kireç-silis kullanılırken %40 cam kırığı katılır. Bu cam için spesifik ergime ısısı 2321×10^3 kJ/ton olur.
- b) Ortalama cam sıcaklığı 1400°C 'dir.
- c) Minimum bacı gazı sıcaklığı 1500°C 'dir.
- d) Fırın yapısından kaynaklanan ısı kaybı, cam ergimesine gereken enerjiye eşittir.
- e) Isı geri dönüşüm sisteminde ulaşılabilecek maksimum ön ısıtma sıcaklığı 1250°C 'dir.
- f) Yanma sistemi %10 fazla yanma havası ile çalışır.

Şekil 5.4'de bu model için, termodinamik faktörlerin adım adım uygulanması gösterilmiştir.

Eğer yakıt enerjisinin tamamını cama aktarmak mümkün olsaydı, fırın verimi %100 ve enerji kullanımı 2321×10^3 kJ/ton olurdu. Aşağıdaki formüller Sismey, 1983'den alınmıştır.



ε	1,00	0,90	0,90	0,79	0,77	0,72	0,60
kJ / ton	23,2	25,7	51,5	58,7	60,2	64,6	66,4
Q_G / Q_F	1,00	0,90	0,45	0,40	0,39	0,33	0,31
Q_A / Q_W	1,00	0,84	0,84	0,66	0,66	0,66	0,53

Şekil 5.4 Fırın performansları için limit faktörlerinin adım adım uygulanması
(Sismey 1983)

$$\varepsilon = \frac{Q_G}{Q_F} = 1; \quad Q_F = Q_G \quad (1)$$

Yanma havası ön ısıtma sıcaklığını, fırından atılan baca gazı ile aynı sıcaklığa çıkarmak teorik olarak mümkün olsaydı bile sıcaklık aynı düzeye ulaşamaz ve yanma verimi %90' lara düşerdi.

Bunu aşağıdaki denklemlerden görmek mümkündür :

$$(Q_A = 0,84 Q_W)$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{Q_A}{Q_F} - \frac{Q_W}{Q_F} = 1 + 0,84 \frac{Q_W}{Q_F} - \frac{Q_W}{Q_F} = 0,90 \quad (2)$$

Böylece toplam enerji $2321 \times 10^3 \text{ kJ/ton} / 0,90 = 2579 \times 10^3 \text{ kJ/ton}$ olacaktır. Bu şartlar altında ortalama cam sıcaklığı 1400°C olur ve baca gazı sıcaklığı minimum değere iner ve hava ön ısıtma sıcaklığının ise 1500°C 'ye ulaşabileceği söylenebilir.

Şimdiye kadar her iki kabulde de fırın yapısından kaynaklanan ısı kayıpları ihmal edilmişti. Yüksek verimli fırınlar da bile bu kayıp, bazı koşullarda cama aktarılan enerji miktarına kadar çıkabilir.

$$Q_R = Q_G; \quad Q_F = (Q_G + Q_R) 0,9 = 5149 \times 10^3 \text{ kJ/ton} \quad (3)$$

Bununla birlikte teorik yanma havası ön ısıtma sıcaklığı 1500°C kabul edilmesine rağmen, gerçekte transfer mekanizmasının etkinliği hesaba katıldığında, sürekli olarak çalışan bir fırında en iyi ısı geri dönüşüm sisteminde bile (örneğin regeneratörde) ön ısıtma sıcaklığı 1250°C ile sınırlandırılmış olarak kabul edilmiştir.

$$\frac{Q_A}{Q_W} = 0,66; \quad \varepsilon = 1 - 0,34 \frac{Q_W}{Q_F} = 0,79 \quad (4)$$

böylece toplam enerji

$$\frac{(Q_G + Q_F)}{0,79} = 5877 \times 10^3 \text{ kJ/ton olur} \quad (5)$$

Bütün bu sözü edilenler, yanmanın teorik hava miktarı ile karşılandığı varsayımına dayanır. Yakıtın tamamen yakılması için yanma sistemleri fazla hava kullanır. Pratikte tam yanma için

%10 fazla hava yeterlidir.

$$\varepsilon = 1 - 0,34 \times 0,67 = 0,77 \quad (6)$$

$$Q_{f.} = \frac{(Q_G + Q_F)}{0,77} = 6024 \times 10^3 \text{ kJ/ton} \quad (7)$$

Bütün bu ısı transfer işlemleri, yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Sonuç olarak, baca gazı fırın sisteminden atılırken gazların içindeki su buharının gizli ısısı henüz serbest kalmamıştır. Böylece brüt termal eşitlik 6468×10^3 kJ/ton olur.

Benzer koşullarda sürekli tank fırını için belirtilen sayılar, ısı performansın 6647×10^3 kJ/ton ($\varepsilon = \%60$) olduğunu gösterir. Bununla birlikte teorik hesaplarla elde edilen sonuçlar ile gerçek performanslar arasında bir çelişki varmış gibi gözükse bile, bu fark çok büyük değildir. Başka çalışmaların sonuçları büyük fırınlardan bazılarının 5275×10^3 kJ/ton seviyesinin altına çalışabileceğini ortaya koymaktadır.

Şu ana kadar ki değerlendirmeler sonucu, en verimli fırının, düşük duvar kayıpları olan, sürekli yüksek sıcaklıklarda çalışan, hava ön ısıtma sisteminin etkenliği yüksek olan fırındır. Aynı zamanda, endüstrideki bütün fırınların çok verimli çalışmadığı da açıktır. Şekil 5. Sismey bu hususu görüleceği üzere açıkça vurgulamaktadır. Bir potalı fırının yaklaşık 105500×10^3 kJ/ton enerji kullandığı görülebilir. Bu enerji yalnızca camı ergitmek kullanılan enerjinin 50 katıdır. Karşılaştırsak bir sürekli çalışan tank fırını çalışırken 6330×10^3 kJ/ton enerji harcar ki, bu miktarda camı ergitmek kullanılan enerjinin 3 katıdır.

Seçilen örnek fırınlar için veriler Çizelge 5.9' da verilmiştir. Aşağıdaki yorumlar bu tablo sonuçlarından çıkartılmıştır.

Çizelge 5.9 Hesapları yapılan fırınlar (Şekil 5.3) hakkındaki bilgiler

Fırın	Sürekli Fırın	Sürekli Fırın	Günlük Tank	Çok Potalı	İki Potalı	Tek Potalı
Fırın Numarası	1	2	3	4	5	6
Haftalık Tonaj (ton)	630	126	14,2	15	6	2,5
kJ / hafta (x 10 ⁶)	4170	1860	250	500	168	77
kJ / ton (x 10 ⁶)	6,6	14,8	17,9	33,1	28,1	30,8
Yanma Verimi	0,596	0,595	0,596	0,649	0,558	0,494
Ergitme Verimi	0,365	0,169	0,132	0,075	0,089	0,081
Yapısal (Structural) Verimi	0,231	0,426	0,464	0,574	0,469	0,413
Geri Dönüşüm Verimi	0,683	0,538	0,637	0,778	0,765	0,650
Ön ısıtma Oranı	0,530	0,382	0,269	0,435	0,271	0,182
Yapısal Verim	0,132	0,102	0,203	0,213	0,299	0,290
Baca Kaybı	0,272	0,303	0,201	0,138	0,142	0,217

(Sismey, 1984)

Yanma verimi:

$$\varepsilon = \frac{(Q_F + Q_A - Q_W)}{Q_F}$$

Ergime verimi: Camı eritmek için gereken enerji miktarının yakıttaki enerjiye oranıdır.

$$\mu = Q_G / Q_F$$

Ergitme fırınının yapısal verimi: Bu oran, eritme fırınının çalışma sıcaklığı koruması için gerekli enerji miktarının yakıttaki enerjiye oranıdır.

$$\varepsilon - \mu = \frac{Q_R}{Q_F}$$

Isı geri dönüşüm etkenliği: Yanma verimine benzer bu oran ısı geri dönüşüm sistemlerinde kullanılır.

$$\rho = \frac{(Q_W + Q_{Ao} - Q_{Wo})}{Q_W}$$

Yanma havası enerjisinin ön ısıtma sistemine giren baca gazı enerjisine oranını ifade eder. Bu değerler Şekil 5.5' de gösterilmiştir.

Ön ısıtma oranı: Daha önce de tanımlanmış olan bu oran, ön ısıtma yanma havası içinde geri dönen enerji ile ısıtma fırınından atılan baca gazı enerjisi arasındaki orandır:

$$\sigma = \frac{Q_A}{Q_W}$$

Isı geri dönüşüm sisteminin yapısal verimi: Bu oran kavram olarak ısıtma fırını verimine benzerdir.

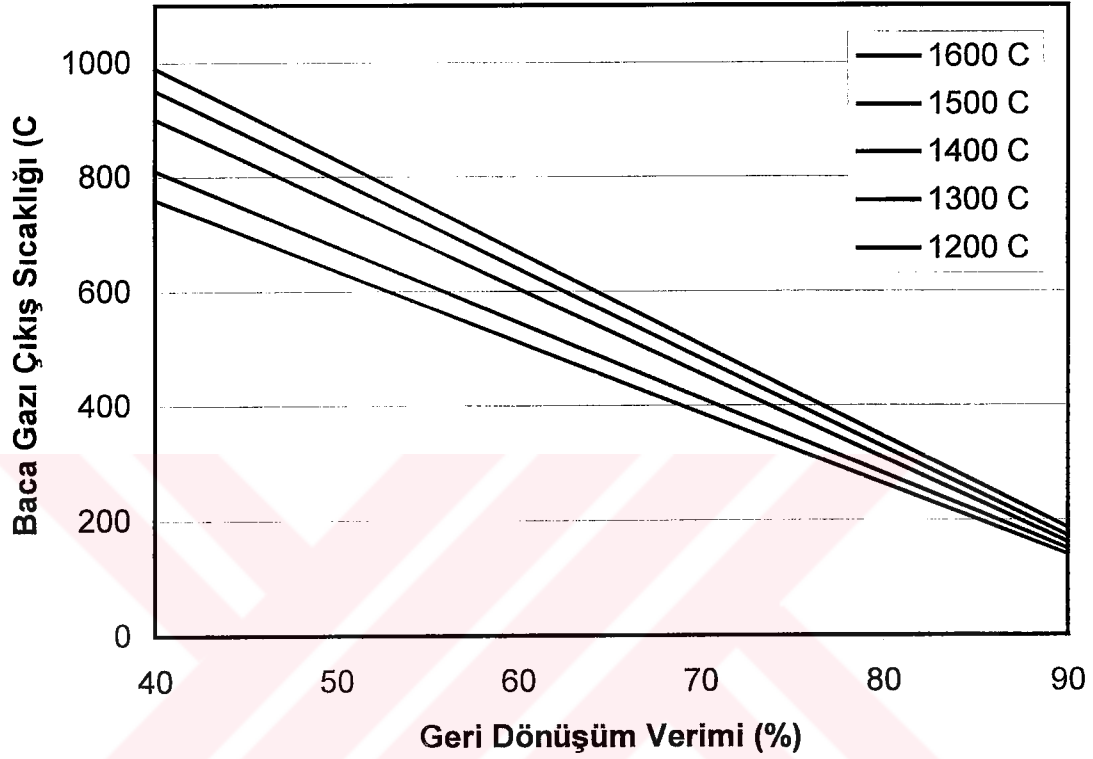
$$(\rho - \sigma) \frac{Q_W}{Q_F} = \frac{Q_L}{Q_F}$$

Baca kaybı: Bu oran, baca gazı enerjisinin yakıt enerjisine oranıdır.

$$\varepsilon = \frac{Q_{Wo}}{Q_F}$$

Örneğin, ilk olarak yüksek verimde çalışan 2 no'lu küçük tank fırını (Şekil 5.3 ve Çizelge 5.9) ele alınıp, yukarıda tanımlanan model ile karşılaştırırsa, geri dönüşüm sistemi etkenliği 0,595 olduğu durumda, her iki fırında kullanılan ısı enerjisi aynı olur. Bununla birlikte büyük fırında oluşan alev sıcaklığı 2710K olmasına karşın, küçük fırında ulaşılan alev sıcaklığı sadece 2520K olacaktır. Bunun anlamı büyük fırın için alevden cama geçen ısı enerjisinin, %60 daha fazla olmasıdır. Böylece, büyük fırında spesifik ısıtma alanı küçültülebilir, bu da fırının üretim miktarı ile karşılaştırıldığına dış yüzey alanının daha küçük olması anlamına gelir. Örneğin, 90 tonluk tank fırının dış yüzey alanının üretim miktarına bölünmesi ile 3,53 m²/ton gün değeri çıkarken, 18 tonluk tank fırınında bu değer 11,63 m²/ton gün olur. Bu değerler arasındaki oran 1/3,3'dür. Bu hesabın sonucunda, 1 ton cam üretmek için 18 tonluk fırında, 90 tonluk fırına oranla iki kat daha fazla enerjiye gereksinim duyulur. Sayısal olarak ifade edilirse, spesifik

ergitme enerjisi 90 tonluk fırın için 6650×10^3 kJ/ton iken, 18 tonluk fırında 14800×10^3 kJ/ton olur.



Şekil 5.5 Beş ayrı baca gazı sıcaklığı için geri dönüşüm verimi
(Sismey, 1984)

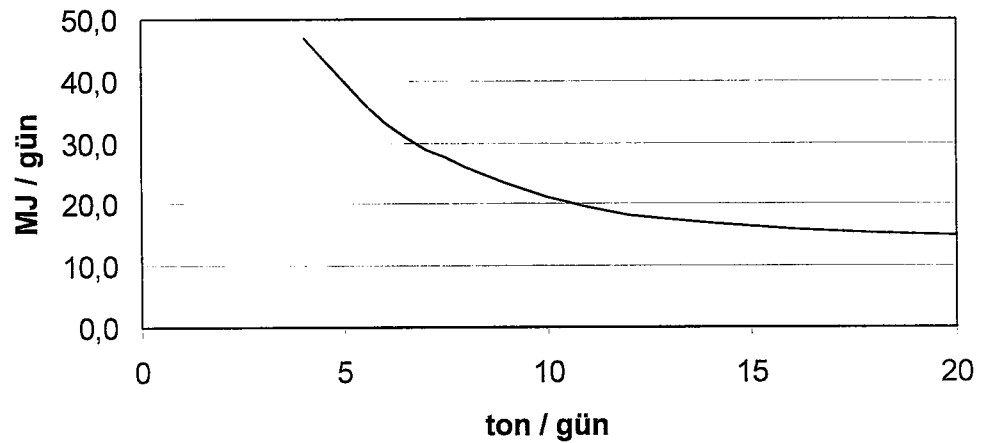
Bunun nedeni, yanma havası ön ısıtma sıcaklığının 90 tonluk fırında 1150°C iken, 18 tonluk fırında bu sıcaklığın sadece 700°C olmasıdır. Isı geri dönüşüm sistemi olarak 18 tonluk fırında radyasyon reküperatörü kullanılırken, 90 tonluk fırında regeneratör kullanılmasının nedeni de budur. İki sistemde kendi çalışma şartlarında en uygun sistemlerdir. Bu konunun altının çizilmesinin nedeni, pek çok fırının kendi dizayn kapasitelerinin altında çalışırken doğuracağı sakıncaların gösterilmesidir. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'da spesifik ergitme enerjisi 14800×10^3 kJ/ton olmak üzere dizayn edilmiş 18 tonluk fırının yükleme testi sonuçları gösterilmiştir. Fırının üretim kapasitesi 18 tondan 12 tona indirilirse günlük toplam enerji ihtiyacı 266×10^3 kJ' den 224×10^3 kJ'e düşer, ancak spesifik ergitme enerjisi 14800×10^3 kJ/ton' dan 18700×10^3 kJ/ton' a çıkar; bu da

%26 artış anlamına gelir. Bu nedenle fırınların dizayn kapasitelerinde çalışmalarının sağlanması çok önemlidir. Aksi takdirde üretim maliyetleri önemli ölçüde yükselir.

Sürekli tank fırının da aralıklı çalışması durumunda benzer sorunlarla karşılaşılır. Hafta sonları çalışılmadığı durumlarda fırın kapasitesinin ancak 5/7' si kullanılmış olur. Bu durumda haftanın iki günü yakıt tüketimi boşa çalışma (stand by) değerine düşer. Hesap etmek gerekirse, 18 tonluk fırının termal performansı $(5 \text{ (gün/hafta)} \times 14770 \text{ (} 10^3 \text{ kJ/ton)} \times 18 \text{ (ton)} + 2 \text{ (gün)} \times 158260 \text{ (} 10^3 \text{ kJ/gün)}) / 18 \text{ (ton)} \times 5 \text{ (gün)} = 1646000 / 90 = 18300 \times 10^3 \text{ kJ/ton}$ olur. Bu durum, spesifik enerjide %24 lük bir artış anlamına gelir ve bu nedenle fırın dizaynında sürekli çalışma önemlidir.

Sürekli üretim yapılırken fırınları karşılaştırmak daha kolaydır. Fırın sürekli ısıtıldığında, fakat aralıklı cam üretildiğinde ise bu karşılaştırma işlemi zorlaşır. Ergitme işleminden boşa çalışma (stand by) konumuna geçildiğinde karşılaştırma işlemi iki kat zor olur.

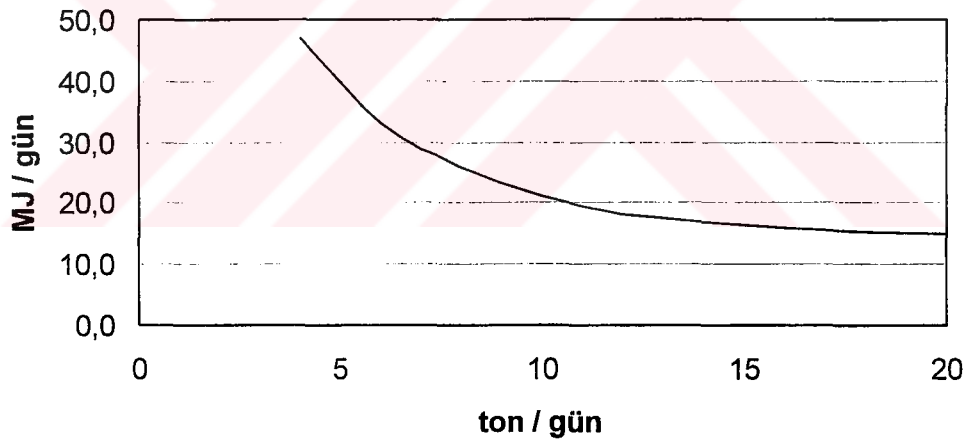
3 nolu günlük tank fırınında, yukarıdaki değerlendirmeler haftalık yapılarak bu problemlerin üstesinden gelinmiştir. Bir hafta içinde; 5 kez 12 saatlik periyotlarda, fırında cam ergitme işlemi yapılır, 5 kez 12 saatlik periyotlarda, fırında cam fırından alınır, hafta sonunda ise fırın 48 saatlik süre ile boşa çalışır (stand-by) konumunda geçer.



Şekil 5.6 Sürekli tank fırınında yükleme test sonuçları I

(Sismey, 1984)

Bu tank 1790×10^3 kJ/ton' luk göreceli olarak yüksek bir ısı verime sahiptir, bunun da iki temel sonucu vardır. Birincisi alev ve cam yüzeyi arasındaki sıcaklık farkıdır. İlk örnekte 90 tonluk sürekli tank fırınındaki yüksek alev sıcaklığı nedeniyle, daha fazla ısı transferi yapılmasına olanak sağlar. Bu durumda ergitme prosesi sırasında büyük miktarda yüklenen soğuk harmanda, alevden soğuk harman yüzeyine ısı enerjisi geçişi olur. Böylece ortaya çıkan ısı enerjiden yararlanma oranı çok yükselir. Daha sonraki doldurmalarda harman, üstteki alev ve altta ergiyen veya ergimiş camdan olmak üzere ısı iki kaynaktan absorbe edilir. Bu nedenle harmana göreceli yüksek oranlarda ısı enerjisi transfer olur. Yüksek ısı verimi arkasındaki ikinci neden, cam ergime prosesi dışındaki boşta çalışma (stand-by) süresince kullanılan ısı enerjisinin büyük oranda düşmesidir. Ergime süresince ortalama ısı girdisi saatte 2532×10^3 kJ/ton iken, boşta çalışma süresince bu değer sadece saatte 738×10^3 kJ/ton olur. Örnek fırında olduğu gibi, küçük ölçekli fırınlarda fırın yapısından ısı enerjisi kaybı düşüktür. Sadece kayıpların azalması değil, hava ön ısıtma sistemi de bu fırının verimini artırır.



Şekil 5.7 Sürekli tank fırınında yükleme test sonuçları II
(Sismey, 1984)

Pota fırınlarında aynı davranış gözlemlenebilir, fakat buradaki termal verim sınırlaması daha önceki örneklerdeki gibi değildir. Isının bir kısmı doğrudan cam yüzeyine geçeceği yerde, pota duvarları üzerinden cama geçer, bu şekilde belli bir ısı bariyer oluşur. Bu bariyer oldukça güçlüdür, çünkü potanın güvenli olarak dayanabileceği maksimum sıcaklık 1420°C dir. Kilin

termal iletkenliği ile birlikte, kil duvarlardan geçen ısıl enerji miktarı da pota fırınlarının eritme verimini etkiler. Bununla birlikte izelge 5.9' da gösterilen 4 nolu çok potalı fırının ergitme verimi, büyük sürekli tank fırını veriminin sadece beşte biridir.

Buna karşın çok potalı fırınlarda mevcut ısıl enerjinin bir kısmı cam ergimesinde kullanılmaz, ısı pota yüzeyinden dışarı atılır. Alevler pota yüzeyine değmeden pota haznesinde homojen ısı dağılımını sağlamak için, büyük alanlara ihtiyaç duyulur. Büyük hacim nedeniyle ısıl enerji kaybı, toplam yakıt girdisinin %50' sine ulaşabilir. Bu durum, ısı kayıp alanının fırın içinde tutulan cam ağırlığıyla yakından bağlantılı olduğunu gösterir. Çok potalı fırında bir ton için 28 m^2 yüzey gerekli iken, bu alan 90 tonluk sürekli üretim yapan tank fırını için ton başına $3,7 \text{ m}^2$ dir

Yukarıda incelediğimiz fırın da dahil olmak üzere, çok potalı fırınların çoğu, sabit bir sıcaklıkta çalışırlar. Camdan alınan enerjiye göre ısıl kütle büyük olduğundan, bu fırınlar sabit yakıt girdisinde çalışırlar. Bu lme periyodun 24 saat ile sınırlanabileceği anlamına gelir. Bu zel fırında, oniki kapalı pota altılı iki grup halinde gün aşırı kullanılır. Termal hesaplamalar cam harmanının 12-13 saatte tam anlamıyla eriyebildiğini gösterir. Bununla birlikte, camın rafine edilmesi için gereken ve 6-8 saate kadar uzayan süre ile, camın 24 saatten önce fırından alınmayacağını gösterir. Bundan dolayı ergime halinde ve tamamen ergimiş durumdaki cam, pota içinde yaklaşık 40 saat kalır.

Pota odacığından ayrılan baca gazında bulunan enerjinin sadece yarısı, fırındaki ön ısıtma sisteminden geriye döner. Sonuç olarak yakıttan elde edilen ısıl enerjinin %40' ı fırın duvarları veya baca gazları ile kaybolur. ısı geri dönüşüm sisteminde, borulu reküperatör reflektrlerinin iyi yalıtımıyla, ısı geri dönüşüm düzeyi arttırılabilir.

Bir ve iki potalı fırın (izelge 5.9' da 5 ve 6 numaralı) hesapları, çok potalı fırınlarla benzer zorluklar gösterir.

Çok potalı fırınların da ergime verimi düşüktür ve yapısal ısı kayıpları yüksektir. Bir ve iki potalı fırınların hava ön ısıtma etkenliğinin çok potalı fırınlardan daha düşük olması nedeniyle, ergime verimleri çok potalı fırınlardan daha da düşüktür.

6. TRAKYA CAM FABRİKASI' NDA ISIL ENERJİ TÜKETİMİNDE MEVCUT DURUM

6.1 Giriş

Trakya Cam Fabrika' sında buhar tüketimi, elektrik üretimi hariç, yaz aylarında 4000 ton/ay, kış aylarında ise 9000ton/ay civarında olmaktadır. Bununla birlikte buhar tüketim noktalarındaki tüketim miktarı, buhar sayaçları olmadığından tam olarak ölçülememekte, buhar dağılımı sadece tahmin edilebilmektedir. Fabrikadan alınan verilere göre buhar tüketiminin olduğu başlıca yerler, lojmanlar, lamine hattı (güvenlik camı üretimi), fabrika mahal ısıtma, mamul ambarının ısıtılması, hidrojen tesisi, harman nemlendirme, azot tesisi, teknolojik su üretimi olarak sayılabilir. Elektrik üretimi hariç doğal gaz tüketiminin ise hemen hemen tamamı cam ergitme fırınları ve banyolarında bulunmaktadır. Elektrik tüketiminin olduğu başlıca noktalar ise, azot üretimi, boosting^{*1}, fırın soğutma fanları, teknolojik su üretimi ayna üretim hattı ve lamine hattıdır.

Tez çalışmasının amacı proseste enerji tüketimini modellemek olduğundan, bu bölümde ele alınacak prosesler;

- CamErgitme Fırınları ve Banyoda Isıl Enerji Tüketimi
- Güvenlik Camı Üretiminde Kullanılan Otoklavda Isıl Enerji Tüketimi
- Hidrojen Eldesi Prosesi

olarak belirlenmiştir.

^{*1} Boosting: Fosil yakıtlarda kullanılan üretim kalitesini arttırmak için elektrik enerjisi ile ek ısı enerjisi verilmesi prosesi olarak tanımlanabilir.

6.2 Kojenerasyon Sistemi ve Buhar Üretim ve Tüketimi

Trakya Cam Fabrikası'nda bulunan elektrik şebekesi ikiye ayrılır. Orta gerilim 31,5 kV, alçak gerilim 400 V dur. Fabrika alanı içinde bulunan Camış Elektrik Üretimi Şirketi'nin jeneratörünün çıkışı ise 6,3 kV dur. Ülkemizin tükettiği elektriğin bir bölümünün ithal edilmesi sonucu, Trakya Cam Fabrikası'nın da bulunduğu Trakya Bölgesi için Bulgaristan'dan elektrik alınmaktadır. Alınan bu elektriğin voltajının değişkendir, zaman zaman 180 V' a kadar düşmektedir. Bütün yapılan ithalata karşılık yine de elektrik kesintisi tehlikesinin mevcut olması, sürekli üretim yapan fabrikada elektrik sisteminde kesinti veya değişkenliklerin fabrikaya büyük zarar vermesi nedeniyle bir kojenerasyon sistemi kurulmuştur. Camış Elektrik Üretimi Şirketi'nin kojenerasyon sisteminde, iki adet gaz türbini, iki adet türbin baca gazı ile çalışan atık ısı kazanından bir adet buhar türbini ve cam fırınlarının baca gazlarından yararlanan atık ısı kazanından iki adet vardır. Gaz türbinlerinin katalogda belirtilen ISO' ya göre çıkış değeri 10,695 MW_e' dir. Türbinler bu değere ulaşmak için yaklaşık olarak 3500 Nm³/h doğal gaz yakmaktadır. Pratikte kışın katalog değerlerindeki çıkış değerine yaklaşan (10,5 MW_e) çıkış gücü, yazın artan hava sıcaklığı sonucu düşen havanın özgül ağırlığıyla 8 MW_e' a kadar düşer. (13°C için 10,5 MW_e, 40°C için 7,7 MW_e). Bu düşmeyi önlemek için Camış Şirketine türbinlere giren havanın absorpsiyonlu soğutulması konusunda bir Ar-Ge çalışması yürütülmektedir. Türbinlerin her birinden yaklaşık 150 000 kg/h debisinde ve 488°C' de eksoz gazı atılmaktadır.

Buhar üretimi dört adet atık ısı kazanından sağlanmaktadır. İki adet atık ısı kazanı, gaz türbinlerinden çıkan eksoz gazını kullanarak buhar üretmektedir. Her bir atık ısı kazanı 52 bar basınçta 16/h ton ve 8 bar basınçta 3,5 t/h buhar üretir. Diğer ikisi ise, iki adet cam fırınından çıkan baca gazından yararlanmak üzere kurulmuştur. Can ergitme fırınlarının bacalarında bu iki atık ısı kazanının her birinde ise 52 bar basınçta 9,4 ton buhar üretilmesi planlanmış, pratikte ise 8,5 ton buhar elde edilmiştir. Bunun nedeni, atık ısı kazanlarının projeleri yapılırken cam fırınından atılan baca gazı debisinin 67 500 Nm³/h, sıcaklığının 450 °C olarak kabul edilmesi, ancak daha düşük sıcaklıkla karşılaşılmasıdır. Bu olumsuz durumu gidermek için ara kızdırıcılar konulmuştur.

Üretilen 52 bar basıncındaki buharın yaklaşık 50 ton/h' luk bölümü buhar türbinine 49 bar basınçta ve 410 °C sıcaklıkta girer ve buhar türbinden 11500 kW_e elektrik enerjisi sağlanır. Bu değer maksimum kapasitedir ve yıl ortalaması ise söz konusu değerin %75'i civarındadır. Bu kapasite düşüklüğünün başlıca nedeni, fırın bacalarındaki atık ısı kazanlarından yeterince buhar gelmemesidir. Atık ısı kazananında yeterince buhar üretilmemesi nedeni ise, üretilen cam prosesinin (ince, kalın, renkli, renksiz v.b.) ve buna bağlı olarak baca gazı miktarının değişken olmasıdır. Buhar türbinin çıkışı ise -0,9 bar basınçta olur. Buhar türbininden yapılan ara buhar çekişinin basıncı 7 bar' dır. 52 bar buharın buhar türbininin dışında diğer tüketildiği diğer noktalar, (basınç 10-15 bara düşürülerek) otoklav ve hidrojen üretimidir. Otoklavda ihtiyaç olan 10,5 bar basınçtaki buharı sağlamak için, 8 bar basıncındaki buharın kızdırılıp 10,5 bar basınca çıkarılması yada 10,5 bar basınçta çalışan otoklavın 8 bar basınçtaki buharı kullanacağı şekilde dizayn edilmesi düşünülmeyen, 52 bar basınçtaki buharın basıncı 10,5 bar basınca düşürülerek kullanılma nedeni bir soru işaretidir. Üretilen 8 bar basıncındaki buharın başlıca kullanım alanları, 236 adet her biri yaklaşık 100 m² büyüklüğündeki lojmanlar, üretim ve yönetim binaları ve yemekhanenin ısıtılması, sıcak su ihtiyacının karşılanması, mamul ambarının belirli bir sıcaklıkta tutulması, fırına atılan harmanın sabit nemde tutulması, sıvı azotun gazlaştırılması, hidrojen tesisi, teknolojik su üretimi işlemleridir.

6.3 Cam Ergitme Fırını ve Banyo

Trakya Cam Fabrikasında birbirine benzer TR1 ve TR2 adlı iki fırın ve buna bağlı banyo ve üretim hattı bulunmaktadır. Bu fırınlarda float (yüzer) cam (düz cam) üretimi yapılır. TR2 fırının kapasitesi yaklaşık olarak 700 ton/gün, TR1' nin kapasitesi boosting çalışmadığında 660 ton/gün, boosting çalıştığında 725 ton/gün dür. TR1 fırınında bulunan boosting molibden elektrodlar yardımı ile gerçekleşmektedir. Fırınlardan yandan ateşlemeli olup, hava-yakıt karışımının fırına girmesi yada fırından baca gazının atılması amacıyla, sağ ve solda altışar adet olmak üzere, toplam oniki portu mevcuttur.

Fırınlarda 1400°C-1425°C sıcaklıklara kadar çıkılır. Camın rengi, çıkılacak olan sıcaklığı belirler. Bu kadar yüksek sıcaklıklara çıkılmasının nedeni afinasyon (camın gaz habbelerinden arındırma) işlemidir. Afinasyon işlemine gerek olmadığı takdirde, renksiz cam için yaklaşık 1125°C sıcaklık, camın ergitilip şekillendirilmesi için yeterlidir. Cam içindeki bileşikler içinde en

zor sıvı faza geçen SiO_2 ' (silika) dır. Al_2O_3 ise tam sıvı faza geçmeyip camın içinde erir. 851°C ' de ilk ergiyen madde Na_2CO_3 ' (sodakülü) dür. Na_2CO_3 ' nın kullanılmasındaki en önemli neden camın ergime sıcaklığını düşürmesidir. Daha sonra 874°C ' de $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ (sodyumdisilikat) ergir. 1000°C - 1400°C arasında ise feldspat, metasilikat, SiO_2 ve CaO ard arda sıvı faza geçerek camı oluşturur (Tooley, 1953).

Cam fırınlarının ömrü, fırın içinde ergimiş cam seviyesindeki reflektör tuğlaların ömrü ile sınırlıdır. Bunun nedeni cam dalgacıklarının reflektörden küçük parçacıklar koparmalarıdır (Tooley, 1953). Tuğlalar aşındığında fırın dıştan destek tuğlaları ile desteklenir. Destek amacı ile yerleştirilen reflektör tuğlalar da aşındıktan sonra fırının bütün tuğlaları sökülür ve yeni tuğlalar döşenir. Bu süreye "fırın ömrü" denir. Fırın ömrü yaklaşık olarak on-oniki yıldır. Reflektör tuğla aşınması düşük sıcaklıklarda daha az olduğu için, fazla aşınma olan bölgeler dışarıdan hava ile soğutulur. Fırını hava ile soğutma işlemi iki ayrı fan sistemi ile yapılır. Doğrudan alevle temas eden yan bloklardaki yüzeylere yüksek basınçta hava üflenirken, alçak basınç fanları alevle karşılaşmayan bölgeleri örneğin kemer yataklarını soğutur.

Fırınların her birinde yaklaşık olarak 1800-1850 ton arasında cam vardır. Toplam iç alan TR1 fırınında 426 m^2 , TR2 fırınında ise 487 m^2 ' dir. Fırınlardaki ergimiş cam yüksekliği 116 cm. kadardır. Fırının ergitme havuzunda basınç (+) 35 mmSS, çalışma havuzunda (+) 100 mmSS' dur. Fırını ısıtmak için doğal gaz kullanılır. 660 ton/gün' lük renksiz cam üretimi için doğal gaz tüketimi yaklaşık olarak $160\,000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ dür. Eğer aynı miktarda üretim için çift yakıt kullanılırsa, tüketim düzeyleri $65\,000 \text{ Nm}^3/\text{gün}$ doğal gaz ve $38\,000 \text{ kg/gün}$ No6 fuel-oil olarak gerçekleşir. Hava fazlalık katsayıları doğal gaz için %7,5, fuel oil için %10 dolaylarındadır. Her portta iki bek olmak üzere bir fırında toplam 24 bek vardır. Fırınların yan ve alt bölümlerinde soğutma fanları daha sıcak bölümlerde ise soğutma suyu kullanılır. Yüksek basınç fanının debisi $220\,000 \text{ m}^3/\text{h}$, basıncı 338 mmSS ve mil gücü 238 kW (motor gücü 300kW) dır. Her fırında ikişer adet olmak üzere $125\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ debisinde, 156 mmSS basıncında ve motor gücü 68 kW alçak basınç fanları mevcuttur. TR1 fırınındaki elektrodların toplam kapasitesi 2400 kW dır. Elektrodlar birinci bölgede tabandan 60 cm, ikinci bölgede ise 70 cm cam içine girecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Elektrodlar daha çok içinde demiroksit bulunan camlar için, demiroksitin fırının tabanına çökmesini önlemekte kullanılır.

Cam ergitme fırınlarının her birinde iki adet rejeneratör vardır. Bu rejeneratörlerin içi tuğla döşelidir. Bir rejeneratörden sıcak baca gazı atılırken tuğlaları ısıtır, diğerinden ise sıcak tuğlaların arasından geçen yanma havası ısınarak fırına girer. Her yirmi dakikada bir yanma havası giren rejeneratörle, baca gazının atıldığı rejeneratör görev değiştirir (invers). Bu işlem bir klape yardımı ile yapılır. Invers işlemi için yirmi dakikalık süre pratik yaklaşımla yapılmış optimum kabul edilen süredir. Baca gazlarının rejeneratöre girdiği sıcaklık, baca gazının portlara girişindeki port yüzey sıcaklığı olan 940°C, rejeneratörden çıktığı sıcaklık olarak da baca gazının atık ısı kazanına girdiği sıcaklık olan 404°C alınmıştır. Yanma havasının fırına giriş sıcaklığı olarak yakma havasının fırına girdiği portun yüzey sıcaklığı olan 412°C kabul edilmiştir. Bu sıcaklıklar bir invers süresince alınmış değerlerin ortalamasıdır. Harmandan reaksiyonlar sonucu çıkan gaz miktarı toplam baca gazının %2.5 kadardır ve fırın soşluklarından kaçan baca gazıyla birlikte ihmal edilmiştir.

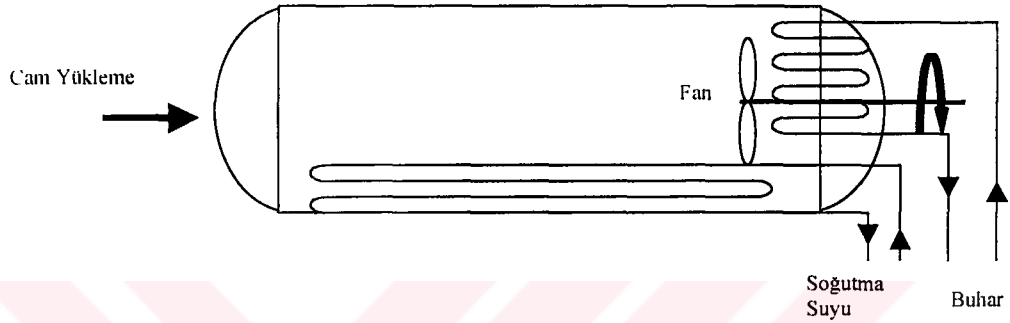
Banyo ergitme fırınından sonra gelen bölümdür. Burada cama şekil verilir ve cam kontrol altında soğutulur. Daha sonra cam gerilimler dolayı çatlamaması için tavllanır. Ergimiş cam, ergitme sonrası, sırası ile şartlandırma (yarı cam hali), hızlı soğuma, kalınlık ayarı ve tavlama tüneline gerilim ayarı işlemlerinden geçer. Şekillendirme öncesi şartlandırma ve hızlı soğuma işlemleri camın serbest olarak sıvı kalayın üstüne dökülmesi ile yapılır. Banyoda yaklaşık 190-200 ton kalay vardır. Camın banyoya giriş sıcaklığı 1100°C, çıkış sıcaklığı 575°C dir. Banyonun (kalay havuzu) tabanını soğutmak amacıyla fanla hava üflenir. Bu fanın debisi 150 000 m³/h, basıncı 190 mmSS ve motor gücü 238 kW dır. Camın kalınlığını “tampol” adı verilen makine ile ayarlanır.

Cam kalınlığı 12 mm. olduğunda, cam çekme hızı 250-260 m/h’ olurken, cam kalınlığı 2, 2,2 ve 2,5 mm’ ye düşürüldüğünde, cam çekme hızı 1100-1200 m/h’ e çıkar. Cam, 2 mm kalınlığında olduğunda 500 t/h olan üretim miktarı, 5-6 mm kalınlığına ulaştığında 700 t/h’ e çıkar.

6.4 Otoklav

Fabrikada güvenlik camı üreten otoklav silindirik bir basınçlı kaptır. İçindeki hava buhar yardımı ile ısıtılmakta, soğutma suyu ile de soğulmaktadır. Soğutma suyu ise gönderildiği soğutma kulesinde enerjisini bırakmakta yani soğumaktadır.

Güvenlik camı genel olarak iki camın arasına PVB (polivinilbütüldenit) konularak elde edilir. Cam-PVB-cam kombinasyonu otoklavın içindeki havanın yaklaşık 13 bar ve 135 °C' de belirli bir süre tutularak, bu opak kombinasyonun saydam duruma gelmesi sağlanır. Otoklavın tam boyu yaklaşık olarak 8,5 m, çapı 4 m dir. 8,5 m olan tam boyun yaklaşık 7 m' si güvenlik camı için basınçlı üretim bölümü, 1,5 m. ise eşanjör ve fanın bulunduğu bölümdür. Camları otoklava yüklemek için “araba” olarak bilinen bir demir taşıyıcı kullanılmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Şematik otoklav çizimi

Trakya Cam Fabrikasında otoklavda yoğun olarak üç ayrı üretim programı kullanılmaktadır. Program1, Program2 ve Program Jumbo (Program5) olarak adlandırılan bu programların arasındaki fark, işlenen camın boyutları, kalınlıkları ve miktarına bağlı olarak ve otoklavdaki ısıtılma süresinin değişmesidir. Program süreleri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Otoklav program süreleri

	Program1 Süresi (dak.)	Program2 Süresi (dak.)	Prog. Jumbo Süresi (dak.)
Isıtma	30	40	40
Bekleme	30	40	45
Soğutma	30	55	135
TOPLAM	90	135	220

6.5 Hidrojen Eldesi Prosesi

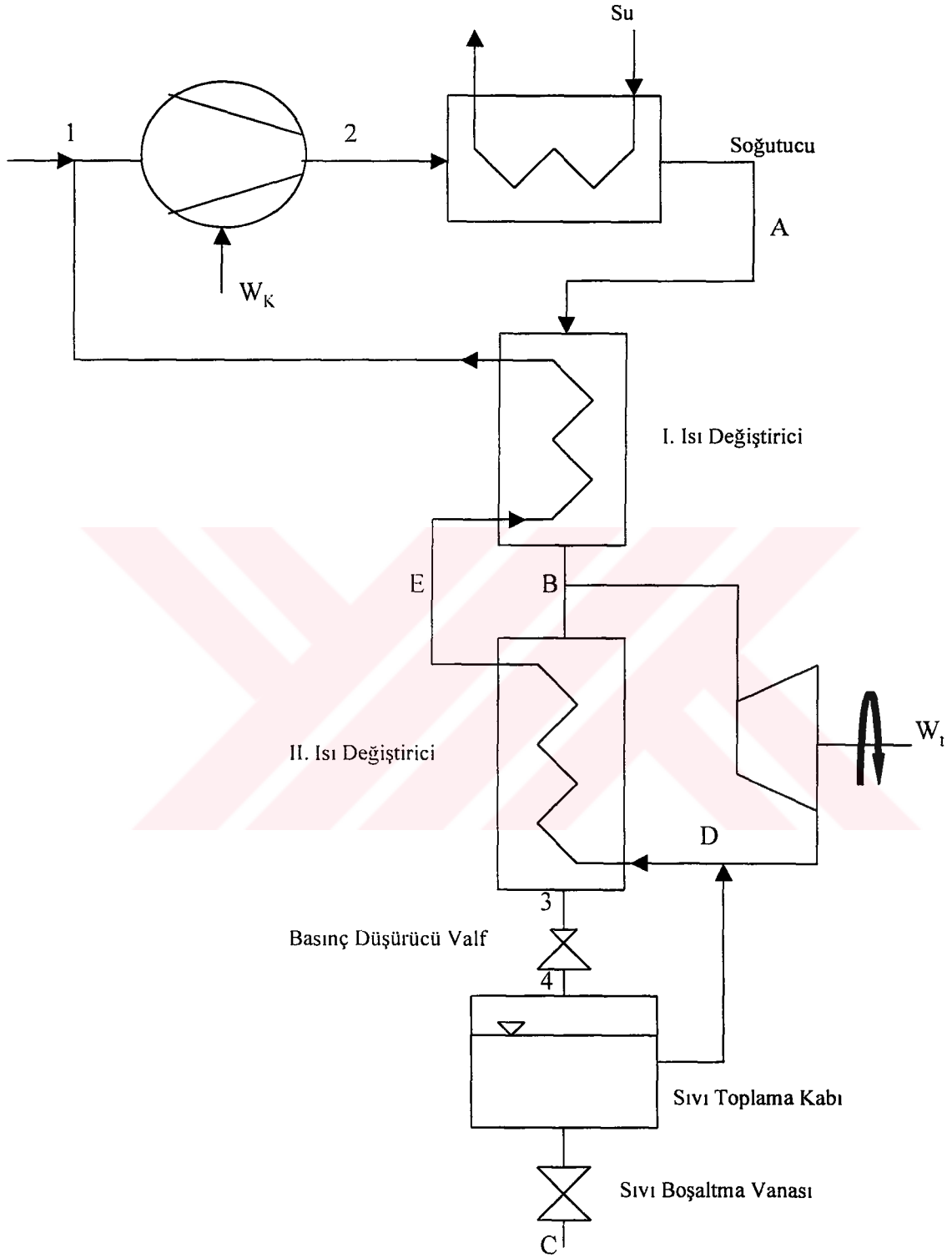
Banyoda sıvı kalay herhangi bir reaksiyona girmez, sadece camın şekillendirilmesinde önemlidir. Kalayın okside olmasının önlemek için, ortamın antioksidan duruma getirilmesi gerekir. Bu nedenle azotun içine %5 oranında hidrojen katılarak banyo atmosferine verilir.

Banyo ortamına verilen azot, havanın sıvılaştırılması ile elde edilir. Hidrojen ise doğal gaz ile buharın reaksiyona girmesi ile elde edilmektedir. Azot, kalayın oksijen ile temas etmesini önlerken, hidrojen ortama giren havanın oksijenini ile de reaksiyona girerek, kalayın okside olmasını önler. Reformerde, metan (doğal gaz) ve buhar yaklaşık 810°C sıcaklık ve 8 bar basınçta reaksiyona girer, bu reaksiyon sonucunda CO, CO₂, H₂, CH₄ elde edilir. Reformerden çıkan bu gaz karışımına su püskürtülerek ortamdaki CO miktarı düşürülür; su, CO₂ ve hidrojen miktarı artırılır. Bu sırada sıcaklık 300°C'ye düşerken, çıkan gaz Fe katalizörle reaksiyona girer. Katalizörden çıkan gazın kondensi alınarak, saflaştırma işleminden yeterli saflıkta hidrojen elde edilir ve 22 bar basınçta depolanır. Bu proses Şekil 6.2' de görülebilir.

Fabrikada azot eldesi için 3 adet pistonlu ve 3 adet türbinli turbo kompresör vardır. Pistonlu kompresörün her biri 12 bar basınçta 2700 m³/h debide hava sıkıştırabilecek kapasitede, 490 d/dak devirde ve 400 kW gücünde olup, turbo kompresörlerin her biri 9 bar basınçta 3200 m³/h debide havayı sıkıştırabilen 470 kW gücündedir. Sıkışan basınçlı hava 7 bar basınçta stoklanır.

Türbinlerden çıkan gaz havanın basıncı ile çalışan soğuk dolap türbini olarak anılan 2 adet türbinden geçen hava, genişlererek soğur. Soğuk dolap türbinleri, bir adet 2023 Nm³/h debide 23,2 kW gücünde 36000 dev/dak da çalışan, bir adet 1817 Nm³/h debide 18,17 kW gücünde 34100 dev/dak da çalışan türbinden oluşur. Azot ve hidrojen gazlarının kritik basınçlarının altında – 160°C' ye kadar soğutulan havada gazlar sıvılaşarak ayrılmaya başlar. Ayrılan azot, –190°C sıcaklıkta 4 bar basınçta 210 m³ hacimli tankta saklanır. Günde yaklaşık 2800-2900 Nm³ azot kullanılır.

*¹ Cryogenic Sıcaklık: Havanın içindeki iki element olan oksijen ve azotun ayrılması amacıyla, havanın 160C ve altındaki sıcaklık olarak nitelendirilebilir



Şekil 6.3 Claude Yöntemi ile N_2 üretimi
(Büyüktür, 1991)

7. BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANITIMI

7.1 Giriş

Bir cam fabrikasında proseslerde tüketilen ısı enerjisinin modellenmesi amacıyla bilgisayar ortamında bir program geliştirilmiştir. Excel programında yazılmış olan ve kullanıcıyla dost olarak nitelendirilebilecek program başlıca 3 modülden oluşmaktadır:

Modül I : Sürekli olarak çalıştığı kabul edilen bir cam ergitme fırını modelleyen

Ergitme Fırını Modülü

Modül II : Güvenlik camları üretimi için kullanılan ve esas itibarıyla kesikli çalışan bir ısı işlem fırını modelleyen *Otoklav Modülü*

Modül III : Ergitme işleminin son prosesinde azot atmosferine giren oksijeni, antioksidan olarak su buharına çeviren hidrojenin, reformerde metan ve su buharının reaksiyona girerek üretilmesi yöntemini modelleyen *Hidrojen Üretim Modülü*

Hazırlanan bilgisayar programı ilke olarak bu ve benzeri prosesleri içeren tüm işletmeler için kullanılabilir. Ancak, fırın kabuk yapısı, ısı geri kazanım sistemleri, soğutma devreleri gibi hususlar tüm işletmeler için aynı olamayacağından, kullanıcının bu ve buna benzer alt modüllerde bazı değişiklikler yapmaları gerekebilecektir.

Bir önceki bölümde ele alınan Trakya Cam Fabrikası örnek işletme olarak seçildiğinden bilgisayar programı bu işletmedeki altyapı kısıtları ve yardımcı ekipman portföyü göz önünde tutularak hazırlanmıştır.

7.2 Ergitme Fırını Modülü

Programın bu bölümünde farklı cam çeşitleri için kullanılan harmanın, yalnızca rejeneratörlü ve karşı yanmalı bir fırında değil, sürekli olması koşuluyla rejeneratörü olmayan yada sondan yanmalı fırınlarda da, cam ergimesini modellenmektedir. Diğer bir deyişle rejeneratörü olsun yada olmasın bu model kullanılabilir; ancak özellikle baca kayıpları alt modülünde önemli

değişiklikler gerekecektir. Ayrıca bu modül günlük tank veya pota fırınlarında üretilen özel yada nitelikli camların modellenmesi için kullanılmamalıdır.

Bu modülün şeması Şekil 7.1' den görülebilir. Programda kullanılan farklı cam çeşitleri kompozisyonları (Doyle P. J.,1977)' den alınmıştır. Genellikle metaloksitlerden meydana gelen bu kompozisyonlar çeşitli bileşiklerden oluşabilir. Bir metaloksit birden fazla bileşikte, birkaç bileşik ise belli oranlarda bazı cevherlerde (feldspat gibi) yer alabilir. Bu cevherler “harman” olarak doğrudan fırının içine atılabilir. Belirli bir kompozisyonda cam üretirken, istenen tür ve miktarda metaloksitin camda bulunması için değişik bileşik ve cevherler kullanılabilir. Hangi cevherin kullanılacağı hususu cevherin bulunabilirliği ve ekonomikliğine bağlıdır.

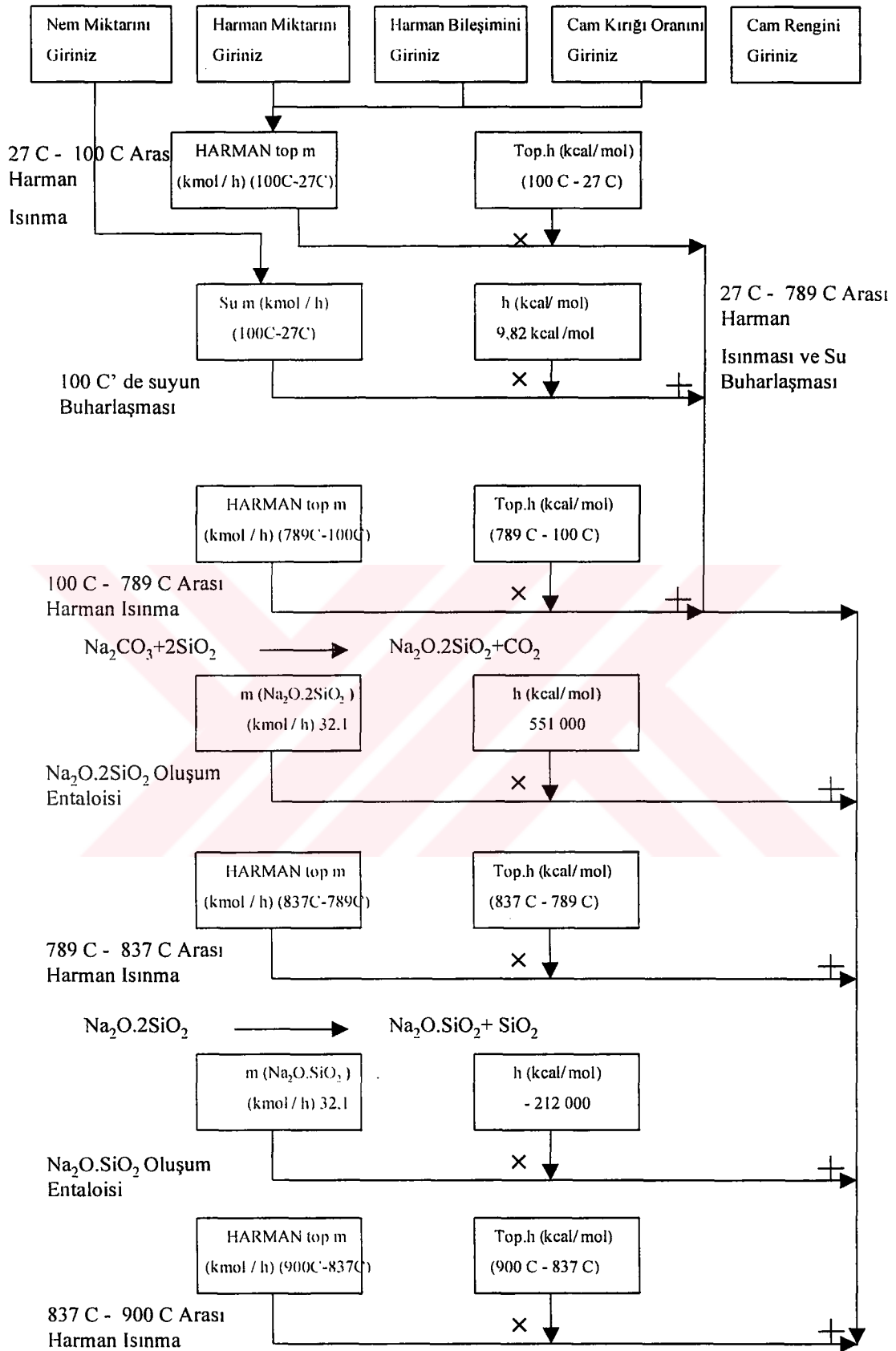
Çeşitli cam türleri için kullanılan hammaddeler ve reçeteleri Çizelge 7.1' den görülebilir (Tooley, 1977). Ancak bu çizelgedeki float cam harmanı kompozisyonu, Trakya Cam Fabrikası' nın kullandığı kompozisyon olarak seçilmiştir.

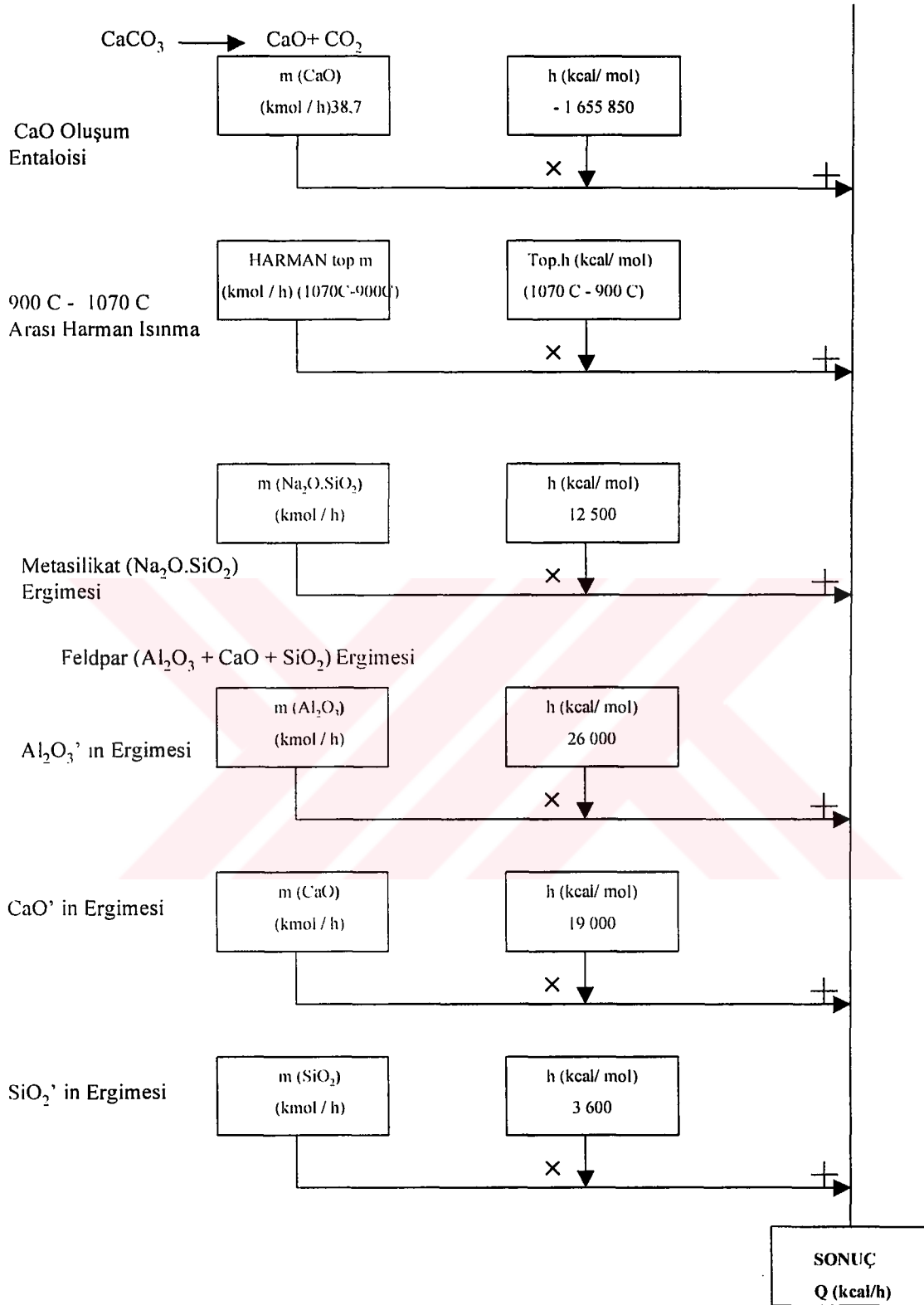
Programda cam türünün kodu girilerek istenilen analiz yapılabilir. Ayrıca Çizelge 7.1' de verilenler dışında da bir reçete oluşturmak mümkündür.

Şekil 7.1' deki akış şemasından da görüleceği üzere ergime süreci;

- harman ısıtılması
- nem ve suyun buharlaştırılması
- kimyasal reaksiyonlar, örneğin
 - $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ oluşumu
 - $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ oluşumu
- $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ ergimesi
- CaO ve SiO_2 ergimesi

aşamalarından oluşmaktadır.





Şekil 7.1 Ergitme fırını modülü akış şeması

Çizelge 7.1 Çeşitli Cam Türleri İçin Kullanılan Hammaddeler

Cam Tipi	Kodu	CaCO ₃	Na ₂ CO ₃	SiO ₂	Felspat	SiO ₂	K ₂ (Na ₂)O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO.CaO.2CO ₂	BaSO ₄	K ₂ CO ₃	Na ₃ AlF ₆	PbO	Na ₂ B ₄ O ₇	ZnO	Al ₂ O ₃	MgO
Float (Düz) Cam	1	18,60	20,20	55,30	7,90	5,45	1,03	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Flat	2	4,34	18,02	56,45	6,53	4,51	0,85	1,18	0,08	14,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Flint Ambalaj	3	18,74	19,01	56,64	7,57	5,22	0,98	1,36	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bal Rengi Ambalaj	4	15,26	19,62	55,91	9,02	6,22	1,17	1,62	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yeşil Ambalaj (Şişe vs.)	5	8,23	20,60	57,09	5,14	3,55	0,87	0,93	0,81	8,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Borosilikat	6	0,17	0,00	68,40	14,05	9,69	1,83	2,53	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,31	0,00	0,00
Anıpul (Opal) Camı	7	0,00	23,74	44,09	17,54	12,10	2,28	3,16	0,05	0,00	1,22	0,00	10,02	0,00	1,09	2,25	0,00	0,00
Kurşun Oranı Çok Kristal	8	0,00	0,00	49,40	0,50	0,35	0,07	0,09	0,02	0,00	0,65	19,88	0,00	28,90	0,65	0,00	0,00	0,00
Kurşun Oranı Az Kristal	9	0,00	0,00	52,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	1,94	22,74	0,00	22,48	0,62	0,00	0,00	0,00
Cam Elyafı, "A" Tipi	10	11,95	17,91	53,65	11,90	8,21	1,55	2,14	0,43	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00
Cam Elyafı, "F" Tipi	11	17,15	0,00	43,09	3,13	2,16	0,41	0,56	0,25	16,16	0,00	0,00	0,48	0,00	8,30	0,00	11,46	0,00
Renkli Televizyon Tüpü	12	0,41	14,25	42,55	15,45	10,66	2,01	2,78	0,00	4,24	15,49	7,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alüminasilikat Camı	13	0,00	1,54	51,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	16,28	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	18,44	7,24

Harman ısıtılması süreci her aşama için ayrı ayrı ele alınmaktadır. Görüleceği gibi birim 100 kg'lık bir harmanla başlayan proseste her adımda (yukarıda verilen) fırında kalan harmanın ağırlığı azalmaktadır. Örneğin, float camda işlemin sonunda ağırlık 87.4 kg' a düşmektedir.

Belirli sıcaklık düzeyleri prosesi dolayısıyla camın kompozisyonunu ve kalitesini en üst düzeyde etkilemektedir.

Harmanla fırına giren hammaddeler, cam kırığı dışında ya reaksiyona girer yada faz değiştirir. Yeni oluşan yada faz değiştiren maddelerin entalpisi doğal olarak değişecektir. Bu değişimler, oluşum entalpileri, faz değişim entalpileri ve oluşan endotermik ve ekzotermik reaksiyonların, ısılarının tümü programda mevcuttur.

Brüt cam üretim hedefleri ve harmanını nemi bilindiği taktirde, ne kadar harmanın fırına atılması gerektiği ortaya çıkar. Daha önce de belirtildiği gibi, 87.4 kg float camı üretimi için 100 kg'lık harmana ihtiyaç duyulacaktır.

Programda tüm bileşenler kmol cinsinden değerlendirilmekte böylece reaksiyon ve ergime hesapları daha kolay yapılabilmektedir. Bir harmanda bulunabilecek bileşiklerin ısı kapasite formülleri, ergime sıcaklıkları, buharlaşma ve oluşum ısıları (Dikeç, 1982)' den alınmıştır. Başlıca reaksiyon ve oluşum entalpileri ve diğer termofiziksel bilgi Ek2'den görülebilir..

Program tam kapasite, yarım kapasite ve boşta (stand-by) alışma durumları için enerji ihtiyaını hesaplayabilmektedir. Float cam için çalıştırılan programın her üç durum için ıktıları Ek3, Ek4 ve Ek5’ de verilmiştir Bu ıktı bilgileri daha sonra ayrıntılı olarak verilecek olan Trakya Cam Fabrikası TR1 fırını verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Örneğın, 3-6 mm kalınlıkta cam üretirken fırın tam kapasitede çalışır. Buna karşın, 2 mm kalınlıkta cam üretirken çalışma yarım kapasitede olur. Stand-by çalışma ise özel durumlarda gerçekleştirilmekte olup, stand-by’ da genelde hurda cam ergitilmektedir. Eğır fırın boşta çalışma (stand by) durumunda ise, oluşum ve reaksiyon enerjisi oluşmamaktadır ve yalnızca cam kırığını ısıtmak için enerji harcanır.

Fırın yüzeyinden ve fırın üzerindeki aralıklardan kaynaklanan ışıınım (radyasyon) ve taşınım (konveksiyon) ısıları fırının çalışma şekline bağlı değildir ve genelde sabit bir değer alır. Aynı şekilde iletimle çevreye yitirilen ısı enerjisi de bulunur. Böylece, oluşum, ergime ve ısınma enerjileri, sabit ısı kayıpları ve baca kayıpları toplandığında fırında tüketilen ve çevreye yitirilen enerjinin toplamı elde edilir.

Örnek olarak alınan Trakya Cam Fabrikası’ nda cam ergitme fırınında, fırın yüzeyinden konveksiyon, fırın yüzeyinden radyasyon ve fırın üzerinde çeşitli nedenlerle oluşan delik ve aralıklardan kaynaklanan radyasyon kayıpları toplam yüzey kayıplarını oluşturur. Konveksiyon ile ısı transferi hesaplarında, ısı taşınım katsayısı (h) 7 (kcal/hm²K) olarak kabul edilmiştir. Ayrıca fırının 5 yüzeyi dikdörtgen ve düz yüzey olarak, st yüzeyi ise silindir parçası olarak kabul edilmiştir. Cam yüzeyi seviyesinde fanlarca nozullardan üflenlen hava akımı, dolayısıyla zorlanmış konveksiyon varken, fırının alt tarafında kapalı bir bölme sayılabilecek bir ortamda durgun bir hava vardır. Kısacası fırın yüzeylerinde hesaplanması pek kolay olmayan değişken bir ısı taşınım katsayı bulunmaktadır. Bu nedenle 7 kcal/hm²K değerinin ortalama değer olarak kabulü uygun görülmektedir. Fırın yüzeyi sıcaklığı ise karolaj yapılarak 14 değişik noktanın sıcaklıklarının ortalamaları alınarak bulunmuştur. Fakat st ve yan yüzeylerinden daha soğuk olması beklenen fırınların alt yüzeyleri, fırın yapısı nedeniyle llemediştir. Ölçülen noktaların aritmetik ortalaması fırın yüzey sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. İki adet pirometre ile yapılan ölçümler sonucu bulunan ortalama emissivite olarak da camın renginin pirometre

kullanma kılavuzundan bulunması sonucu 0,8 sayısı alınmıştır. Fırın boyutları ile ilgili ölçüler Çizelge 7.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 Trakya Cam Fabrikası’ ndaki cam ergitme fırınlarının boyutları

	Boy (m)	En (m)	Yükseklik (m)	Kemer Yük. (m)
Ergitme Havuzu	23.00	12.60	1.30	1.27
Rafinizasyon Havuzu	15.75	12.60	1.30	1.27
Toplam	38.80	12.60	1.30	1.27
Boğaz (throat)	5.00	4.45	1.30	—

Fırında hesaplanan yada kabul edilen değerler Çizelge 7.3’ de gösterilmiştir.

Çizelge 7.3 Trakya Cam Fabrikası’ ndaki cam ergitme fırınlarının hesap değerleri

Fırın Özellikleri	Değeri	Birimi
Toplam Alan	1500	m ²
Isı Taşınım Katsayısı	7	kcal/hm ² K
Ortalama Fırın Yüzey Sıcaklığı	250	°C
Dış Ortam Sıcaklığı	25	°C
Ortalama Fırın İçi Sıcaklık	1260	°C
Fırın Yüzeyindeki Boşluklar	1,8	m ²
Fırın Yüzey Emissivitesi	0,6	
Fırın İçi Emissivite	0,8	

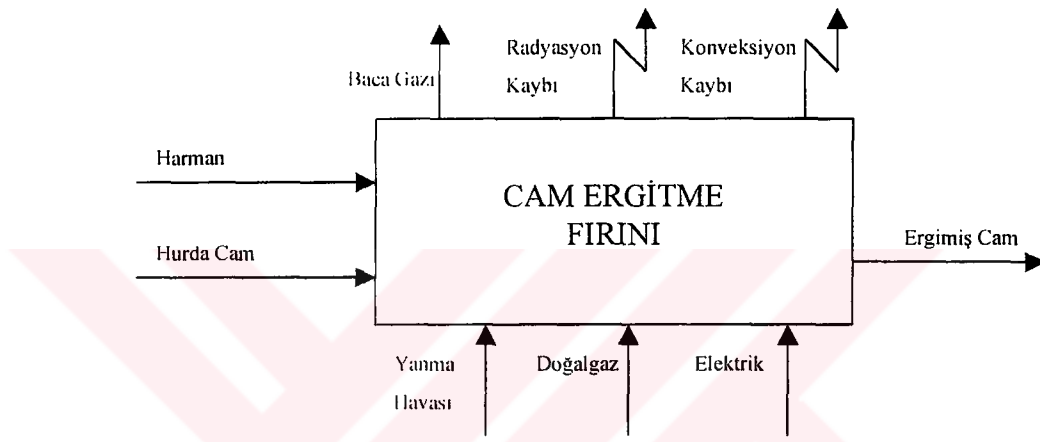
Fırın duvarlarında gözetleme camları ve kapakları bulunmaktadır. Bu kapaklardan da çevreye radyasyon kayıpları oluşmaktadır. Örneğin, Trakya Cam Fabrikası’ ndaki TR1 Cam Ergitme Fırınında toplam 0.9 m² alana sahip 15 gözetleme kapağı vardır. Özet olarak radyasyon hesapları

$$Q = Q_{r\text{fırın yüzeyi}} + Q_{r\text{aracılı kapaklar}}$$

$$Q_r = (\bar{\epsilon}\sigma)AT_{cam}^4$$

formüllerinden hesaplanmaktadır. Örnek alınan TR1 fırınında toplam aralık yüzey alanı 1.8 m^2 dir. Burada ergimiş camın ortalama sıcaklığı olan $T_{\text{cam}} = 1260^\circ\text{C}$ ve ortalama emmisivite $\varepsilon = 0.8$ olup bu iki değer tüm fırınlar için geçerli kabul edilebilir değerlerdir.

Rejeneratörlü olarak tasarımı yapılan fırınların modellemesinde sistem tanımı ve sistem sınırları uygun olarak belirlenirse rejeneratör etkinliği hesaplamaya gerek yoktur. Bu program modellemesi ve girdi/çıktılar Şekil 7.2' den görülebilir.



Şekil 7.2 Cam ergitme fırınına giren/çıkan madde ve enerjiler

Baca gazı sıcaklığı, kompozisyonu ve debisi bilindiği, takdirde stoikiyometrik analiz yapılarak fırın verimini hesaplamak mümkündür. Bilgisayar programı, esas itibarıyla bu yaklaşımı kullanmaktadır.

Bilgisayar programı, girdi olarak her türlü yakıtı kabul etmektedir. Ancak tüm hesaplar doğal gaz için yapılmıştır. Fırınların ihtiyacı olan tüm ısı enerjisi doğal gazdan, ekzotermik reaksiyonlardan ve bazı durumlarda örneğin booster kullanılıyorsa elektrik enerjisinden oluşur. Doğal gazın %100 metandan oluştuğu ve böylece doğal gazın (metan) alt ısı değerlerinin de 50010 kJ/kg (Büyüktür A.R. .1991) olduğu kabul edilmiştir.

7.3 Otoklav Modülü

Güvenlik camları esas olarak çift cam ve iki camın arasında eriyerek kırılmazlık katsayısını arttıran kimyasal PVB' den (polivinilbütülden) oluşmaktadır. Ancak bu kompozisyonun bir ısı işleminden geçirilmesi gerekir.

Genellikle 130°C sıcaklığa çıkarılan sandviç cam, ara bölmede yer alan kimyasalın ergimesi ve kontrollü soğutulması sonucu güvenli cam niteliğine kavuşmaktadır. Kullanılan kimyasal maddeye bağlı olarak otoklavın işletme sıcaklığı düzeyi değişik bir değer olabilir. Kullanıcıyla dost olan program bu sıcaklığın değişmesine olanak vermektedir.

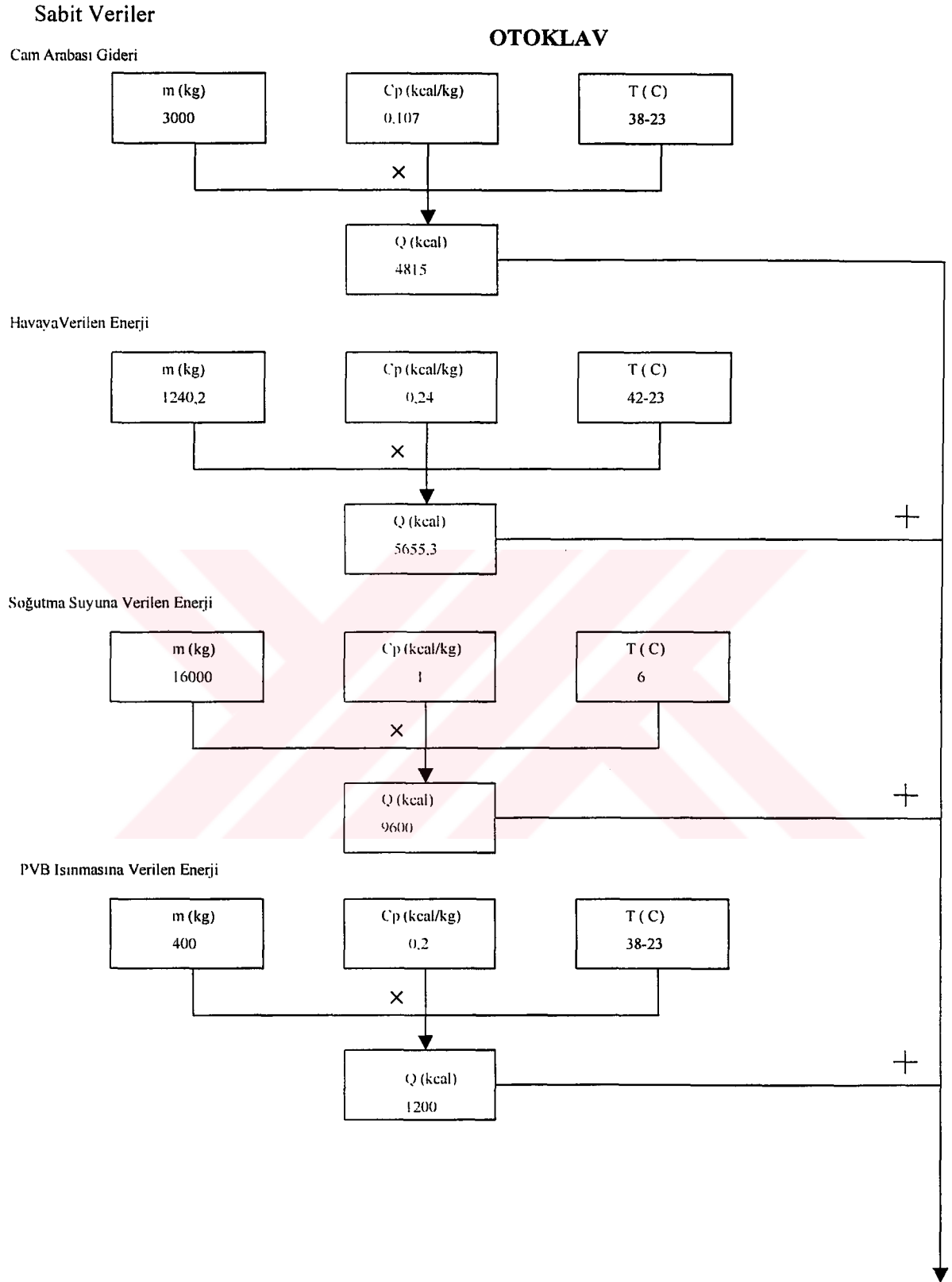
Otoklavlar kesikli olarak çalışır. Genelde manuel olarak kumanda edilen arabalar üzerine yüklenen güvenlik camları otoklava girmekte, istenen hızda ısıtılarak maksimum işletme sıcaklığına ulaşmakta, bu düzeyle belli bir süre kaldıktan sonra tekrar kontrollü olarak soğutulmaktadır.

Otoklav modülünün akış diyagramı Şekil 7.3 den görülebilir. Bu şekilden ve Şekil 7.4' de verilen enerji dengesi diyagramından da görüleceği üzere, otoklavlarda proses oldukça basit olup başlıca dört alt proses vardır.

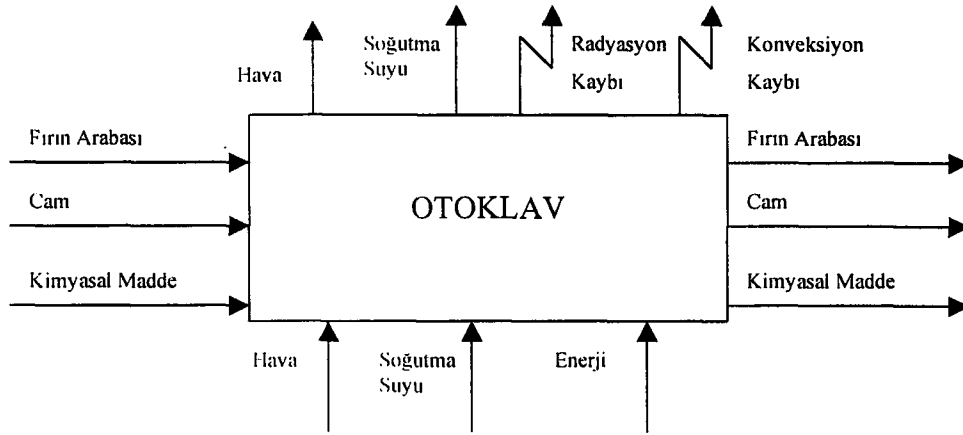
- Cam, araba ve kimyasal maddenin ısıtılması
- Kimyasal maddenin ergimesi
- Kontrollü soğuma
- Çevreye enerji kaybı

Doğal olarak kontrollü soğutmada enerji girdisi yoktur. Genelde oluşturulan bir soğutma devresi (su soğutma/soğutma kulesi gibi) yardımıyla soğutma yapmaktadır.

Program su soğutma devreli opsiyona göre yazılmıştır ve hesapların bir bölümü soğutma kulesi dengelerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.3 Otoklav akış şeması



Şekil 7.4 Otoklava giren/çıkan madde ve enerjiler

Reaksiyon sonucunda reformerde oluşan gazların hacimsel yüzdeleri ise Çizelge 7.4' de verilmiştir. Quinnsport öncesi toplam hacim %100 sonucunu verirken, reaksiyona başlangıç durumu esas alınmıştır, quinnsportda gaza enjekte edilen su ile toplam hacim %226,7' ye ulaşmıştır.

Çizelge 7.4 Reformerde Quinnsport Öncesi ve Sonrası Oluşan Gazların Oranı

Oluşan Gazlar	Quinnsport Öncesi (%)	Quinnsport Sonrası (%)
H ₂	55,3	95,6
CO ₂	5,9	23,2
CO	10,5	0,0
H ₂ O	25,6	103,2
CH ₄	2,7	4,0
Toplam	100,0	226,7

7.4 Hidrojen Eldesi Modülü

Trakya Cam Fabrikasında reformerde metan ve su buharının reaksiyona girmesi sonucu hidrojen eldesi yöntemi kullanılır. Hemen ardından çıkan gazların üstüne quinnsport' da su enjekte edilir. Quinnsport' da, reformerdeki reaksiyondan çıkan gazlara su enjekte edilmesinin nedeni, gaz karışımında hidrojen miktarının artırılmasıdır. Bu yöntemde kullanılan reformer ve

quinnsport tek parça olarak olarak silindir eklinededir. Daha sonraki işlemlerde enerji yönüyle dikkat çekici değildir, sadece kimyasal reaksiyonlar bakımından önemlidir. Bu yüzden bu modülde sadece bundan sonra “reformer” olarak adlandırılacak reformer ve quinnsport birlikte modellenmiştir.

Reformerin basıncı ve sıcaklığı, reaksiyonda oluşan gaz karışımını etkiler. Bu reaksiyonda oluşan gaz karışımının terkihi fabrika yetkililerinden alınmış ve literatürden (Henley E.J, Rosen M.R., 1969) doğrulanmıştır.

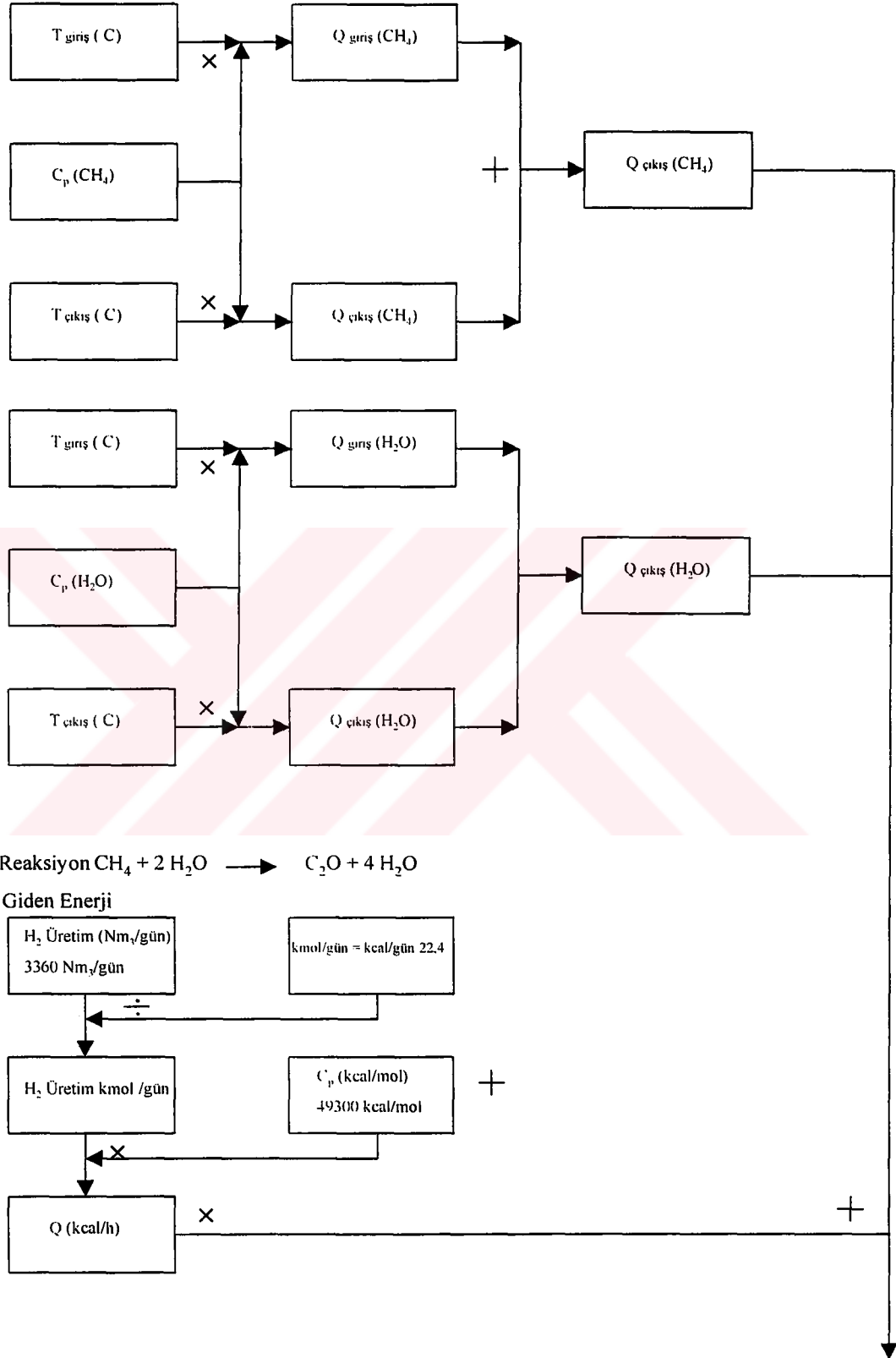
Hidrojen üretiminin akış diyagramı ekil 7.5 den görülebilir. Bu şekilden ve ekil 7.6’ da verilen enerji dengesi diyagramından görüleceği üzere proses iki alt prosese ayrılabilir:

- Reformer reaksiyonları
- Quinnsport reaksiyonları

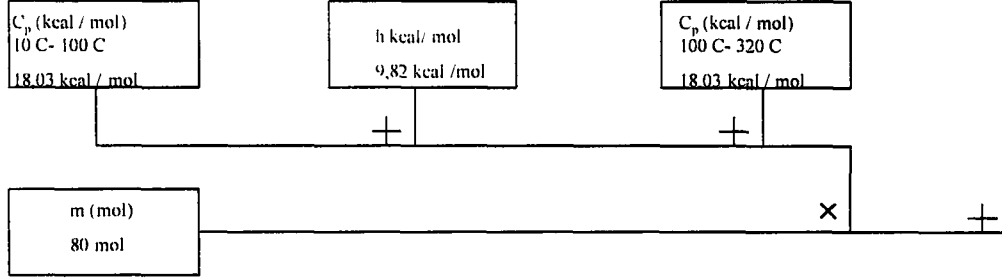
Program sadece reformerde aynı basınç ve sıcaklıkta gerçekleşen reaksiyonlar için geçerli olup, reaksiyondaki basınç ve sıcaklığın değişmesi reaksiyon ürünlerini değiştirecektir.

Reaksiyonun özelliği nedeniyle, kullanılan su miktarı teorik ihtiyaın 3,05 katıdır.

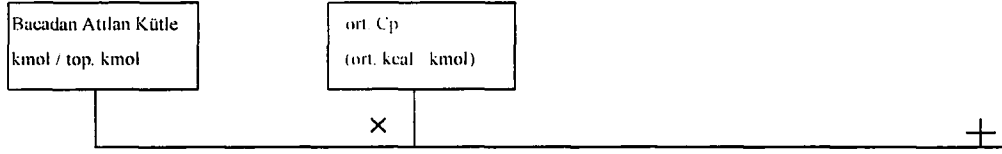
ISINMA KAYBI

H₂ ÜRETİMİ

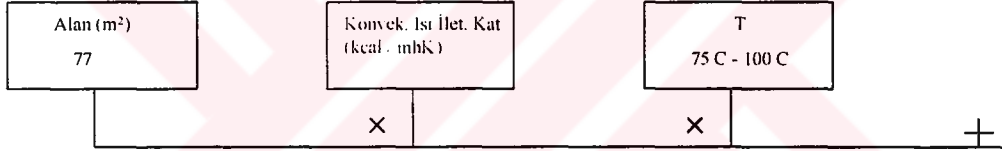
Fazladan Püskürtülen Suyun Enerjisi



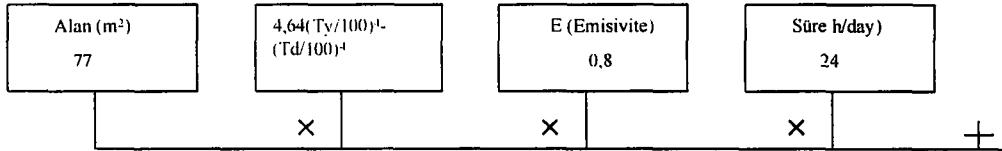
Bacadan Kaybolan Enerji



Yüzeyden Konveksiyon İle Kaybolan Enerji

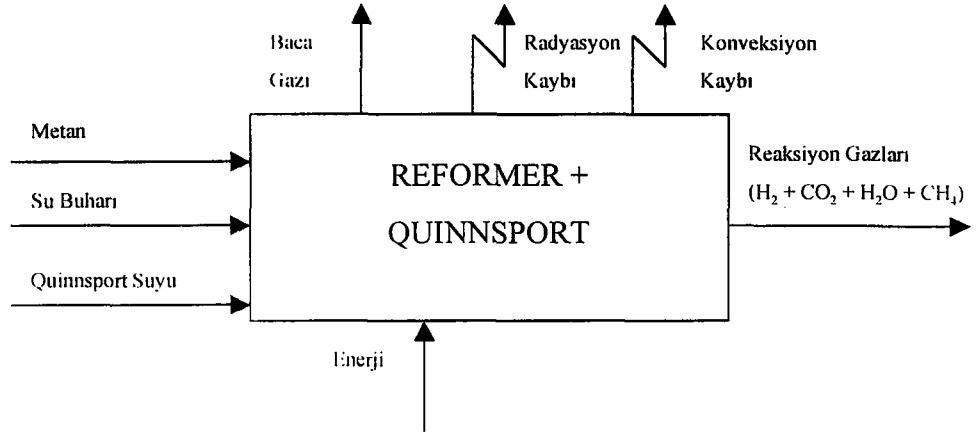


Yüzeyden Radyasyon İle Kaybolan Enerji



SONUÇ
Q (kcal/h)

Şekil 7.5 Hidrojen üretim (reformer) akış şeması



Şekil 7.6 Reformere giren/çıkan madde ve enerjiler

8. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

8.1 Sonuçların ve Değerlendirmenin Tartışılması

Bir önceki bölümde ayrıntıları verilen bilgisayar programında Trakya Cam Fabrikası'nda mevcut olan

- Cam ergitme prosesi
- Otoklavda enerji tüketimi
- Hidrojen eldesi prosesi

için kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, fabrikadan elde edilen tüketim değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Genel amaçlı olarak kullanılan programın Trakya Cam Fabrikası'na uyarlanmasında kullanılan veriler Çizelge 8.1-8.4' de özetlenmektedir.

8.2 Cam Ergitme Fırınının Sonuçları

Beyaz yüzer (float) cam için gerekli harman bileşenlerinin oranları Çizelge 8.1 de gösterilmiştir. TR1 fırının çalıştığı günler incelenmiş, bunlardan 2000 yılı Mayıs ayı, 2001 yılı Ocak, Şubat ve Mart ayları Ek6 'da gösterilmiştir. En yüksek kapasite ile çalışma günü 24 Mayıs 2000 günü bulunmuş, buradaki üretim olan 678,5 ton/gün üretim tam kapasite olarak kabul edilmiştir. Yarım kapasite olarak 2-2,2 mm kalınlığında cam üretilen günlerden 11 Mart 2001 tarihi seçilmiş, bu gün üretilen 498,5 ton/gün üretim yarım kapasite kabul edilmiştir. Boşta çalışma (stand-by) olarak bir grev günü olan 31 Mayıs 1991 tarihinde üretilen 418 ton/gün üretim yapılan gün seçilmiştir. Çizelge 8.1, Çizelge 8.2 ve Çizelge 8.3' de yukarıdaki değerler kullanılmıştır.

Çizelge 8.1 Beyaz yüzer (float) cam için harman bileşenlerinin oranları

Harman Bilgileri	Tam Kapasite (%)	Yarım Kapasite (%)	Boşta Çalışma (%)
CaCO ₃	69,70	69,70	
Na ₂ CO ₃	11,57	11,57	
Si ₂ O	38,54	38,54	
<i>Feldspat</i> ^{*1}			
Si ₂ O	3,80	3,80	
K ₂ (Na ₂)O	0,72	0,72	
Al ₂ O ₃	0,99	0,99	
Hurda Cam	26,94	26,94	100,00
Nem (Su Buharı)	3,36	3,36	
Toplam	100,00	100,00	100,00

*¹ Feldspat madeni Si₂O, K₂(Na₂)O, Al₂O₃ oksitlerinin belirli oranlarda karışından oluşmuştur.

Çizelge 8.2' de fırın boyutları verilmiş. Ek7' de fırın çizimi verilmiştir.

Çizelge 8.2 Cam ergitme fırını özellikleri

Cam Ergitme Fırını Özelliği	Büyüküğü	Birimi
Fırın Boyutları	Ek7'e bakınız	Ek7'e bakınız
Toplam Konveksiyon Kayıp Alanı	1500	m ²
Fırın Yüzey Sıcaklığı	250	°C
Konveksiyon katsayısı	7	kcal/hm ² K
<i>Toplam Radyasyon Kayıp Alanı</i>		
a) FırınYüzeyi	1500	m ²
b) Boşluklar	1,8	m ²
<i>Radyasyon Sıcaklığı</i>		
a) FırınYüzeyi	250	°C
b) Boşluklar	1260	°C
<i>Emmisivite</i>		
a) FırınYüzeyi	0,6	0,6
b) Boşluklar	0,8	0,8

Trakya Cam Fabrikası' nın cam ergitme fırınlarının tipik çalışma şartlarındaki fırın kapasiteleri Çizelge 8.3' de gösterilmiştir. Brüt üretim, cam üretilirken tampol makinalarının bozduğu yada üretim hatası görülerek kırılarak tekrar fırına atılan bölümler dahil olmak üzere tüm üretimi kapsar.

Çizelge 8.3 Fırınlarının tipik çalışma şartlarındaki fırın kapasiteleri

	Tam Kapasite	Yarım Kapasite	Boşta Çalışma
Cam Üretimi (brüt ton/gün)	678,50	498,50	418,10
Cam Üretimi (brüt ton/saat)	28,27	20,77	17,43

Cam ergitme fırınlarının rejeneratörleri ele aldığımız sistemin dışında kaldığı için, fırına giren ve fırından çıkan kütleler sıcaklıkları Çizelge 8.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 8.4 Fırına giren ve çıkan kütlelerin sıcaklıkları

Giriş/Çıkan Kütleler	Sıcaklık (°C)
Harman	25
Hurda Cam (Cam Kırığı)	25
Nem	25
<i>Yakıt (Doğal Gaz)</i>	
Isıtmadan Önce	25
Isıtmadan Sonra	412
<i>Hava</i>	
Isıtmadan Önce	25
Isıtmadan Sonra	412
<i>Baca Gazı</i>	
Rekuperatör Girişi	940
Rekuperatör Çıkışı	538
Ergimiş Cam	1125

Çizelge 8.1, 8.2, 8.3 ve 8.4’ de verilen değerlere dayanarak hesaplanan üç değişik kapasitedeki kayıplar Çizelge 8.5’ de gösterilmiştir. Çizelge 8.5’ in alt bölümünde bu kayıp toplamının cam ergitme fırınında harcanan doğal gaz ve elektrik miktarıyla karşılaştırılmıştır. Hesaplanan enerjiyle harcanan enerjinin karşılaştırılması Çizelge 8.6’ da görülebilir.

Çizelge 8.5 Üç ayrı kapasitede cam ergitme fırınında ısı tüketim noktaları

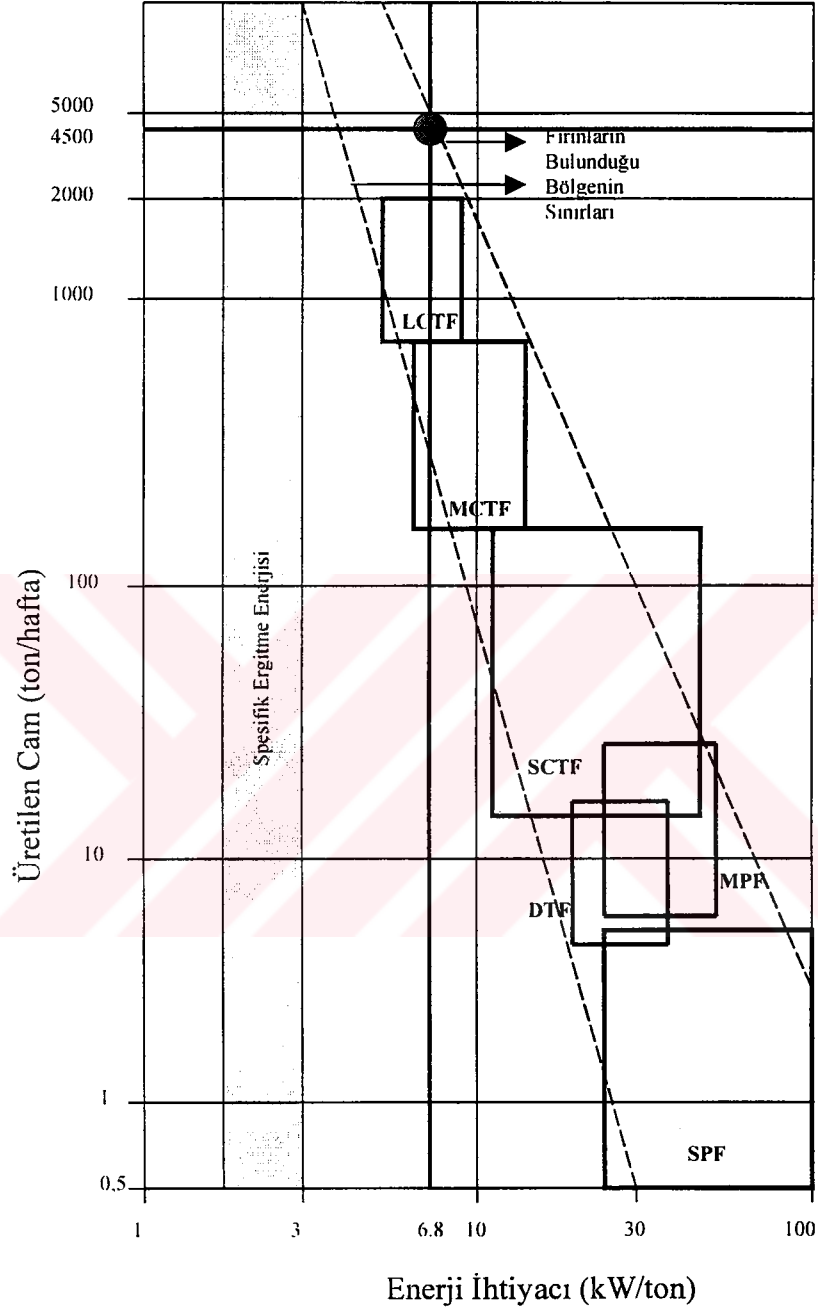
Enerji Kullanım Noktaları	Tam Kapasite		Yarım Kapasite		Boşta Çalışma	
	$\text{kJ} \times 10^6$	%	$\text{kJ} \times 10^6$	%	$\text{kJ} \times 10^6$	%
Harmanın Ergitilmesi İçin Gerekli Top. Isı	96,3	50,2	89,9	48,9	22,9	22,8
Harmanın Isınma Isısı	34,1	17,8	29,4	16,0	22,9	22,8
Harmanın Oluşum (Reaksiyon) Isısı	52,2	27,2	53,9	29,3	0,0	0,0
Harmanın Ergime Isısı	6,5	3,4	6,7	3,6	0,0	0,0
Yüzey Kayıpları	57,7	30,1	57,7	31,4	57,7	57,5
Yüzey Konveksiyon Kayıpları	41,4	21,6	41,4	22,5	41,4	43,3
Yüzey Radyasyon Kayıpları	14,4	8,3	14,4	7,8	14,4	14,4
Yüzey Boşlukları Radyasyon Kayıpları	1,9	1,0	1,9	1,0	1,9	1,9
Bacadan Atılan Enerji	37,8	19,7	36,2	19,7	19,8	19,7
Toplam Kullanılan Enerji	191,8	100,0	183,8	100,0	100,3	100,0

Çizelge 8.6’de örnek alınan fırının bilgisayar programı sonuçları ile gerçek tüketimin karşılaştırılması görülebilir.

Çizelge 8.6 Fırının bilgisayar programı sonuçları ile gerçek tüketimin karşılaştırılması

Fırın Enerjisi	Tam Kapasite	Yarım Kapasite	Boşta Çalışma
Hesapla Bulunan Toplam Kullanılan Enerji ($\text{kJ} \times 10^6$)	191,8	183,8	100,3
Fabrika Tarafından Ölçülen Toplam Enerji ($\text{kJ} \times 10^6$)	189,9	185,5	99,4
Hata Payı	%1,0	%(-1,3)	%0,6

Şekil 5.3’ de gösterilen fırın tiplerine göre spesifik enerji tüketimi grafiğine dayanarak, örnek alınan fırının değerlerinin, fırınların spesifik enerji tüketimleri ile karşılaştırılması Şekil 8.1’ de gösterilmiştir. Fırının kendi boyutlarındaki fırınlara göre çok enerji kullanımının nedeni, fırının float yöntemi ile düz cam elde etmesi ile, fırının yaşlanmasıdır.



Şekil 8.1 Örnek alınan fırının değerlerinin fırınların spesifik enerji tüketimleri ile karşılaştırılması

8.3 Otoklav Sonuçları

Otoklavda iki cam arasında kullanılan PVB' yi (polivinilbütiraldehit) ergitilmesini sağlamak için 135°C sıcaklık ve 10,5 bar basınca ulaşmak gerekmektedir. Daha yüksek basınç ve sıcaklıklar camın çatlamasına yol açmakta, daha düşük sıcaklıklar ise işlemin uzaması ile sonuçlanmaktadır. Otoklavın özellikleri Çizelge 8.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 8.7 Otoklav özellikleri

Otoklav Özelliği	Büyüklüğü	Birimi
Otoklav Çapı	4	m
Otoklav Uzunluğu	8,5	m
Otoklav Yan Yüzey Sıcaklığı	40	°C
Otoklav Kapaklarının Sıcaklığı	51	°C
Otoklav Yan Yüzey Bölgesindeki Havanın Sıcaklığı	17	°C
Otoklav Kapak Bölgesindeki Havanın Sıcaklığı	28	°C
<i>Toplam Konveksiyon Kayıp Alanı</i>		
a) Yan Yüzeyi	105,5	m ²
b) Kapaklar	25	m ²
Konveksiyon katsayısı	7	kcal/m ² hK
Soğutma Suyu Miktarı	16	m ³
Soğutma Suyu Giriş/Çıkışı Sıcaklık Farkı	1	°C
Soğutma Kulesi Su Miktarı	110	m ³
Soğutma Kulesi Giriş/Çıkışı Sıcaklık Farkı	2	°C

Bir dolumda otoklavda yüklenen maddeler ve giriş-çıkış sıcaklıkları Çizelge 8.8' de gösterilmiştir.

Çizelge 8.8 Otoklava yüklenen ve çıkan maddelerin sıcaklıkları

Giriş/Çıkan Küteller	Giriş Sıcaklığı (°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)
Demir Cam Taşıma Arabası	23	38
Otoklav İçindeki Hava	23	42
Soğutma Suyu	$\Delta T = 6$	
PVB	23	38
Cam	23	38
Buhar/Kondensat Suyu	91	194

Otoklava giren/çıkan kütellerin özgül ısıları Çizelge 8.9' da gösterilmiştir.

Çizelge 8.9 Otoklava giren/çıkan kütellerin özgül ısıları

Giriş/Çıkan Küteller	Özgül Isı (kcal/kg)
Demir Cam Taşıma Arabası	0,107
Otoklav İçindeki Hava	0,240
Soğutma Suyu	1,000
PVB	0,200
Cam	0,205

Burada ısıtma amacı ile otoklava giren 10.5 bar 182°C sıcaklıkta giren doymuş kuru buharın entalpisi 664 kcal/kg, otoklavdan çıkan 65°C kondensat suyunun entalpisi 89 kcal/kg dir. Bir kilogram buharın otoklava verdiği enerji 575 kcal/kg olur.

Otoklavda başlıca üç ayrı programda çalışılır. Programlarla ilgili veriler fabrika yetkililerinden alınmıştır. Program1 (P1), Program2 (P2), Program Jumbo (PJ). Bu programla otoklava giren ve çıkan maddelerin ağırlıkları ve program süreleri Çizelge 8.10 ve Çizelge 8.11' de gösterilmiştir. Yüzey kayıpları için ise soğutma ve bekleme sürelerinin tamamı alınmış; ısınma süresinin ise sadece yarısında yüzey sıcaklığı sürekli rejime girdiğinden, ısınma sıcaklığının yarısı alınarak, bu üç değer toplanmıştır.

Çizelge 8.10 Otoklav programlarında kullanılan cam ağırlıkları

Ağırlıklar (kg)	P1	P2	PJ
Cam Ağırlığı	13000	13300	21600
PVB Ağırlığı	400	400	400
Otoklavdaki Hava	1240	1240	1240

Çizelge 8.11 Otoklav programlarında kullanılan süreler

Program Bölümleri	P1 (dakika)	P2 (dakika)	PJ (dakika)
Isınma	30	40	40
Bekleme	30	40	45
Soğutma	30	55	135
Toplam	90	135	220
Yüzey Kaybı Süresi	75	115	200

Otoklav enerji hesapları sonucunda P1, P2, PJ programları için enerji harcamalarının detayı toplu olarak Çizelge 8.12’de görülebilir.

Çizelge 8.12 Otoklavda enerji tüketiminin detayı

Enerji Tüketim Noktaları	P1		P2		P3	
	$\text{kJ} \times 10^3$	%	$\text{kJ} \times 10^3$	%	$\text{kJ} \times 10^3$	%
Otoklavın İçindeki Havanın Isıtılması	23,7	1,2	23,7	0,8	23,7	0,5
Cam Taşıyan Arabanın Isıtılması	20,2	1,0	20,2	0,7	20,2	0,4
Soğutma Suyuna Olan Enerji Kaybı	401,8	19,5	401,8	14,4	401,8	8,9
Kimyasal Maddenin (PVB) Isıtılması	5,0	0,2	5,0	0,2	5,0	0,1
Camın Isıtılması	167,3	8,1	171,2	6,1	278,0	6,2
Kondensatla Atılan Enerji	202,8	9,9	274,4	9,8	477,2	10,6
Yüzey Kayıpları	86,7	4,2	133,0	4,8	231,3	5,1
Soğutma Kulesi İle Atılan Isı	1151,1	55,9	1765,1	63,2	3069,7	68,1
Toplam	2058,6	100	2794,4	100,0	4506,9	100,0

8.4 Hidrojen Üretim Sonuçları

Hidrojen üretimi yapılan reformerle (reformer+quinnsport) ilgili veriler Çizelge 8.13' de verilmiştir.

Çizelge 8.13 Reformer özellikleri

Reformer Özelliği	Büyüklüğü	Birimi
Reformer Çapı	2,2	m
Reformer Boyu	10,0	m
Reformer Yüzey Sıcaklığı	80	°C
Ortam Sıcaklığı	10	°C
Toplam Konveksiyon Alanı	77	m ²
Konveksiyon Katsayısı	15	kcal/m ² hK
Emisivite	0,8	
Metanın Reformere Giriş Sıcaklığı	300	°C
Metanın Reformerden Çıkış Sıcaklığı	320	°C
Su Buharının Reformere Giriş Sıcaklığı	460	°C
Su Buharının Reformerden Çıkış Sıc.	320	°C
Ekstra Suyun Reformere Giriş Sıcaklığı	10	°C
Ekstra Suyun (Buharın) Refor. Çıkış Sıc.	320	°C

Çizelge 8.14' de reformerde enerji tüketiminin detayı görülebilir.

Çizelge 8.14 Reformerde enerji tüketiminin detayı

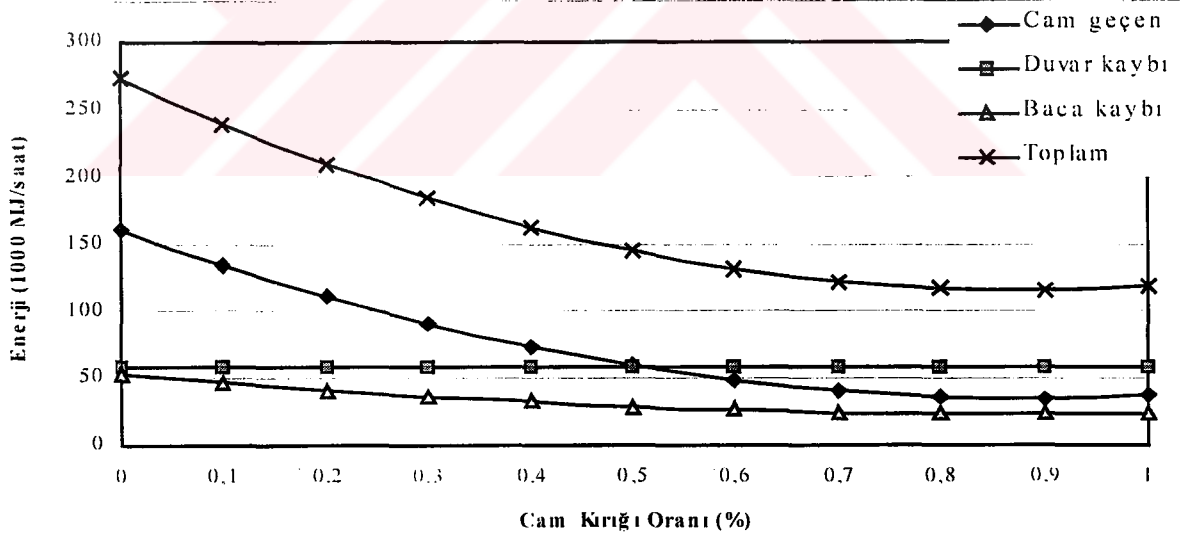
Enerji Tüketim Noktaları	Enerji Miktarı (MJ)	%
Gazların Isınması	-518,7	-1,9
Reaksiyon	7739,1	28,6
Ekstra Suyun Buharlaşması	5405,8	20,0
Baca Kaybı	3663,6	13,6
Yüzey Kaybı	10739,4	39,7
Toplam	27029,2	100,0

8.5 Bir Cam Fabrikasında Isıl Enerji Tüketimini Azaltıcı ve Enerji Verimliliğini Arttırıcı Önlemler

Geliştirilen bilgisayar programı kullanıcıyla dost bir mantıkta hazırlanmış olduğu için, çeşitli parametreler değiştirilerek enerji verimliliği üzerindeki etkileri bulunabilir. Bu bölümde enerji verimliliğini en üst düzeyde arttırabilecek önlemler özetlenmektedir.

1) Cam Kırığı Oranını Arttırmak

Şekil 8.2’ de gösterildiği gibi % 100 cam kırığından yada ergiterek veya % 100 hammaddeden elde edilen yüzer (float) cam üretim prosesinde kullanılan enerji arasında % 230’ a varan fark oluşur. Harmandaki cam kırığı oranı arttıkça fırında kullanılan enerji miktarı $273,2 \times 10^6$ kJ/h’ den $118,1 \times 10^6$ kJ/h’ e kadar düşer. Bu sırada TR1 fırınından 678,5 ton/gün cam üretilirken nem miktarı % 4,6 dır. Harmandaki cam kırığı oranı % 25 olursa enerji tasarrufu % 28, cam kırığı oranı % 37 çıkarsa enerji tasarrufu % 38 olur (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 Örnek alınan fırının harmanında kullanılan cam kırığı oranına göre enerji tüketimi

Yüzer cam üretiminde cam kalitesini sürdürmek için beyaz cam üretiminde % 25-27 renkli cam üretiminde % 36-38 kırık cam kullanılabilir. Daha yüksek oranlarda kullanılan kırık cam miktarı cam kalitesini bozabilir. Örnek fırınların birinde yıl boyunca % 80 renksiz cam, %20 renkli cam

üretildiği ve bütün yıl boyunca % 50 tam kapasite, %50 yarım kapasite çalışıldığı kabulü ile yaklaşık olarak 17 milyon Nm³/yıl doğal gaz tasarrufu sağlanabilir. Doğal gazın fiyatının 0,2 \$/yıl olduğu kabulü ile de 3,4 milyon \$/yıl tasarruf sağlanabilir

Şekil 8.2' den de görülebileceği gibi % 88,5 oranında kullanılan cam kırığında ton başına harcanan enerji bir minimum noktası yapar. Başka bir deyişle fırında kullanılan enerji optimize edilir.

Ayrıca üretimin (çekilen camın) yaklaşık % 20' sinin yakınının kalitesiz çıkması sonucu kırılarak imha edilmesi ve Gölçük depremi sonucu depodaki camların kırılması sonucu Trakya Cam Fabrikası' nda yüksek miktarda kırık cam stoğu vardır. Kırık cam kullanımı enerji tüketiminde düşme ile birlikte hammadde tüketimini azaltarak da maliyetleri düşürücü etkisi olur.

2) Azot Üretirken Elde Edilen Oksijenin, Yanma Havası Oksijen Oranını Artırmakta Kullanılması

Banyoda kullanılan sıvı kalayın oksitlenmesini önlemek amacıyla kullanılan gazlardan biri olan azotun üretilmesinde yan ürün olarak oksijen elde edilir. Bu oksijen kullanılmayıp atmosfere atılmaktadır. Günümüzde cam fırınlarında yanma havasında oksijen miktarını arttırmaya, hatta %100 oksijenle yakma eğilimi artarken yan ürün olarak elde edilen oksijenin kullanılmayıp atmosfere atılması enerji kaybıdır. Fabrikada sıvı oksijeni gazlaştırıp, atmosfer sıcaklığına çıkarmak için gerekli ısıyı atık ısı kazanından çıkan baca gazından alabiliriz. 2800-2900 Nm³/h azot tüketildiği ve bu azotun havanın ayrıştırılmasından elde edildiği göz önüne alınırsa yaklaşık olarak $(2820/0,79) \times 0,21 = 750$ Nm³/h oksijen atmosfere atılmaktadır. Fırın maksimum 5354 Nm³/h metan (doğalgaz) yakmaktadır. Stokiyometrik yanma hesabında 1 Nm³/h doğal gaz yakmak için 9,52 Nm³/h (Büyüktür, 1991) hava kullanılmaktadır. %7,5 hava fazlalık katsayısı ile çalışan bir fırın yaklaşık olarak saatte $(5354 \times 9,52 \times 1,075 \approx) 54800$ Nm³ hava kullanır. 750 Nm³/h oksijen kullanılırsa yanma havasında $(750 \times 9,52 \times 1,075 \approx) 7675$ Nm³ daha az hava kullanılabilir. Yanma havasında oksijen oranını %26,5' i bulur. TR1' den atılan 1 kmol baca gazını ısıtmak için 14095 kJ enerji harcanır. Bu da 1 Nm³ havayı ısıtmak için 628 kJ enerji gerekir. Bu rakam bize yaklaşık olarak 135 Nm³/h lik bir doğalgaz yakıt tasarrufu sağlar. Bununla ilgili hesaplar ise;

$14095 \text{ (kJ/kmol)} / 22.4 \text{ (kmol)} \cong 629 \text{ (kJ/ Nm}^3\text{)} \text{ (1m}^3 \text{ havayı ısıtmak için gerekli enerji)}$

$629 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)} \times 7675 \text{ (m}^3\text{/h)} \cong 4827575 \text{ (kJ/h)}$ (bir saate tasarruf edilen havayı ısıtmak için gerekli ısı)

$4827575 \text{ (kJ/h)} / 35800 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)} \cong 135 \text{ (Nm}^3\text{/h)}$ olarak gösterilebilir. Doğal gazın fiyatının $0.2\$/\text{Nm}^3$ alınır ise, fabrika bu önlemden yaklaşık olarak $230000\$/\text{yıl}$ tasarruf sağlayabilir.

3) Reformer Yüzeyinin Yalıtım Malzemesi ile Kaplanması

Reformerin yüzey alanı 77m^2 dir. Dış hava sıcaklığı 10°C olduğunda reformerin ortalama yüzey sıcaklığı 80°C ölçülmüştür. Yalıtım malzemesi olarak atmosfere açık yüzeylerde kullanılabilen 5 cm kalınlığında ve ısı iletim katsayısı $0.04 \text{ J/m}^2\text{hK}$ olan İzocam Sanayi A.Ş.'nin ürettiği “İzocam Taşyünü Sanayi Şiltesi” isimli yalıtım malzemesi kullanımı esas alınmıştır.

Mevcut (izalasyonsuz) durumda ısı kaybı

$$Q = A \times a \times (T_{\text{yüzey}} - T_{\text{ortam}})$$

$$Q = 77 \times 17,4 \times (80 - 10)$$

$$Q \cong 93800 \text{ kJ/h dir.}$$

Reformerin iç sıcaklığı 810°C olduğu için reformerin duvar ısı iltim katsayısı

$$Q = A \times K \times (T_{\text{iç}} - T_{\text{yüzey}})$$

$$93800 = 77 \times K \times (810 - 80)$$

$$K = 1,67 \text{ kJ/m}^2\text{hK olarak hesaplanır.}$$

İzolasyonlu durumda ise izolasyon malzemesi kullanıldığında ısı iletim katsayısı;

$$\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h}$$

$$\frac{1}{K'} = \frac{1}{1,67} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{1}{17,4}$$

$$K' = 0,43 \text{ kJ/m}^2\text{hK olur.}$$

Yeni K' ile hesaplanan ısı kaybını bulmak için

$$Q' = K' \times A \times (T_{ic} - T_{ortam})$$

$$Q' = 0.43 \times 77 \times (810 - 10)$$

$$Q' \cong 26500 \text{ kJ/h}$$

Yalıtımlı ve yalıtımsız durum arasındaki fark bize elde edebileceğimiz enerji tasarrufu miktarını gösterir.

$$\Delta Q = Q' - Q$$

$$\Delta Q = 93,8 - 26,5 = 67,3 \text{ MJ/h}$$

Elde edilen tasarruf hesaplanmasında ise metanın alt ısı değeri olarak 802,303 MJ/kmol ve bir kmol doğal gazın 22,4 Nm³ olduğu göz önüne alındığında;

$$802303 / 22,4 \cong 35,8 \text{ MJ/Nm}^3 \text{ (CH}_4\text{) bulunur.}$$

Reformer ısıtan sistemin veriminin % 85 olduğu kabul edilir ise tasarruf edilen enerji miktarı doğal gazın enerjisi ve verime bölünürse $67\,300 / (35800 \times 0,85) \cong 2,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ doğal gaz tasarruf edilmiş olur.

Doğal gazın fiyatının yaklaşık olarak 0,2 \$/Nm³ olduğu kabul edilirse tasarrufun maliyeti $2,2 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 0,2 \text{ $/Nm}^3 = 0,44 \text{ $}$ olur. Yıllık tasarruf miktarı ise yaklaşık olarak 3800 \$/yıl olur.

Yalıtım malzemesinin maliyeti ise 1,2 \$/m olduğuna göre ve yaklaşık olarak %10 fire verilirse $(77\text{m}^2 \times 1,2 \text{ $/m}^2) / 0,9 \cong 100 \text{ $}$ civarında olur. %100 işçilik maliyeti kabul edildiğinde dahi bu önlem bir aydan kısa sürede kendini ödemektedir.

4) Fırın Radyasyonu Azaltıcı Önlemler

Fırından ışıma yoluyla kayıplar iki başlıkta toplanmıştır. Birinci olarak, ortalama 250°C olan fırın yüzeyinden olan ışıma kaybı, ikincisi ise ortalama 1260°C olan fırın içinde oluşan ve fırın yüzeyindeki boşluklardan yararlanan ışıma kaybıdır. İkinci tür ışıma kaybı, yaklaşık yarısı 250mm × 250mm alanı olan 15 adet boşluktan oluşur. Bu boşluklar toplam olarak yaklaşık olarak

0,9 m² dir. 1,8 m² olan toplam boşluğun yarısını oluşturan bu boşluklar 1880 MJ/h lik enerji kaybının da yarısına neden olur. Fırın cam seviyesi üzerinde bulunan boşluklar, fırının basıncının ayarlanması ve gerektiğinde fırına müdahale etmek amacı ile kullanılır. Bu boşluklardan, fırının pozitif basınçta çalışması nedeniyle infiltrasyon ve fırın içindeki yüksek sıcaklık nedeni ile ısıma kayıpları oluşur. Fırının önüne konulan yansıtıcılar boşluklardan dolayı oluşan ısıma ile enerji kaybını önlemek amacı ile yansıtıcı iç bükey levhalar konulabilir. % 95' e çıkan yansıtma oranları kirlenme iç bükey yüzeylerin merkez ayarındaki kaçıklıklar gibi nedenle % 80 alınmıştır. Bu enerji kaybının yarısı olan 940 MJ/h kısmının %80 geri çevrilebilirse $940 \times 0,8 \cong 750$ MJ/h enerji tasarruf edilmiş olur. Fırının % 80,3 verimle çalıştığı göz önüne alınırsa $750 \text{ MJ/h} / 0,803 \cong 940$ MJ/h enerjisinde doğal gaz tasarruf edilmiş olur. 1Nm³ doğalgazın 35,8 MJ/Nm³ enerji verdiği düşünülür ise ; $940 \text{ MJ/h} / 35,8 \text{ MJ/Nm}^3 = 26,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$ doğal gaz tasarruf edilmiş olur. Doğal gazın fiyatı 0,2 \$/Nm³ olarak kabul edilirse, yıllık tasarruf yaklaşık olarak 45000 \$ olur.



KAYNAKLAR

- Akgün F., Çoban T., (1997), "Cam Ergitme Fırınlarında Isıl Enerji Analizi, TUBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze.
- Barton J.L., (1993), "Innovation in Glass Melting", Glass Technology, Vol.34, No.5, Oct.1993.
- Barton J.L. ve Merlin A., (1993), "The Glass Industry In Europe", Ceram. Eng. Sci. Proc. 14[3-4], pp:45-55.
- Bevan G. ve Deakin A.W., (1985), "Reducing energy costs", Glass Technology, Vol.26, No.2, April 1985.
- Büyüktür A.R., (1991), "Termodinamik Cilt2 Uygulama Esasları", Uludağ Üniversitesi Basımevi, s:459-460.
- Dikeç F., (1982), "Çözümlü Metalurji Termodinamiği Problemleri", İTÜ Metalurji Fakültesi Yayınları, Sayı:3, İTÜ Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, Maçka-İstanbul.
- Donadini J.C., (1966), "Chimie Première", Classiques, Hachette.
- Doyle P.J., (1977), "Glass Making Today", British Glass Industry Research Association, Sheffield, England.
- Flanagan S.M., (1992), "The UK glass industry-the European context", Glass Technology, Vol.33, No.5, October 1992.
- Gell P.A.M., (1983), "A furnace for tomorrow in operation today", Glass Technology, Vol.25, No.3, June 1984.
- Gunther R., (1958), "Glass-Melting Tank Furnaces", Society of Glass Technology, Almanca'dan İngilizce'ye Çeviri, Sheffield, pp:5.
- Herley J.E. ve Rosen E.M., (1969), "Material and Energy Balance Computation", John Wiley&Sons, Inc NY, London, Syney, Toronto, 68-22303, S8N 471 371106, pp:254.
- Kuşçuoğlu S., Yücesoy D., Engin S., (1993), "Cam Teknolojisine Giriş I.Cilt", İstanbul (a).
- Kuşçuoğlu S., Yücesoy D., Engin S., (1993), "Cam Teknolojisine Giriş II.Cilt", İstanbul (b).
- Manring W.H. ve Baven W.C., (1964), "Processing in the Glass Industry", New York, pp:43.
- Michaux G. ve Tomas E., (1985), "Energy analysis of the glass industry in Belgium", Glass Technology, Vol.26, No.5, October 1985.
- Özkol N., (1999), "Uygulamalı Soğutma Tekniği-Güncelleştirilmiş Beşinci Baskı", Makine Mühendisleri Odası, Yayın no.115, ISBN : 395-300-3, Ankara.

Shand E.B., (1958), "Glass Engineering Handbook", Mc Graw-Hill Book Com., INC., NY, Toronto, London.

Sismey C.J., (1983), "Limitation affecting the performance of glass melting furnaces", Glass Technology, Vol.25, No.2, April 1984.

Tooley F.V., (1953), "Handbook of Glass Manufacture Volume1", Ogden Publishing Company, NY pp:57,70,71.

Tooley F.V., (1977), "Handbook of Glass Manufacture Volume1", Ogden Publishing Company, NY pp:57-68.

Topkapı Şişe Cam Sanayi A.Ş.Eğitim Müdürlüğü, "Cam Eğitim Notları"

Turton G., Argent D., (1989), "Cross Fired Multipass Regenerative Furnaces", Glass Technology, Vol.30, No.1, February1989, pp16.

Tuson G., Higdon R., Moore D., "How 100% Oxygen Firing Impacts Regenerative Melters", Glass Industry, March 1992, pp:12.





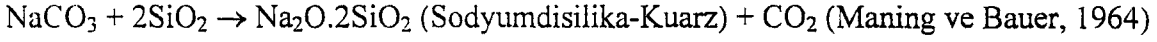
Ek1 Britanya' da Enerji Bakanlığının Cam Ergitme Fırınlarda Enerji Tasarrufu Amacı İle Aldığı Bazı Önlemler

- a) Renkli cam üreten fırınların forehearthlarının elektrikle ısıtması. Geri ödemesi 20 aydır.
- b) Beyaz flint cam üreten fırınların forehearthlarının elektrikle ısıtması
- c) Devamlı düzenli oksijen kullanan cam ergitme fırınının kontrolü. Yakıt harcamalarında %4 tasarruf sağlanır, geri ödemesi 8 aydır.
- d) Soda-kireç-silis camı ergiten elektrik fırınının kullanımı konusunda kurs düzenlenmesi. Bu proje küçük kapasiteli elektrikli ergiticilerin (20t/gün) kullanımını kapsar ve 55 400 GJ/yıl enerji tasarrufu sağlar. Uzun dönemdeki hedef 528 000 GJ/yıl enerji tasarrufudur. Geri ödemesi 4,3 yıldır.
- e) Cam fırını çalışma havuzunda reküperatif ısı geri dönüşümü sisteminin uygulanması.
- f) Cam ergitme tankıa çalışma havuzunun ön ısıtıcılı brülöründe atık ısı geri dönüşüm sisteminin kullanması. Enerji tasarrufu 8 700 GJ/yıldır ve kendini sekiz ayda amorti eder.
- g) Mahal ısıtmada baca gazı ön ısıtmasının kullanılması
- h) Yeni geri dönüşüm sisteminin kullanımı konusunda kurs düzenlenmesi. Enerji tasarrufu 29 000 GJ/yıldır ve kendini iki yılda amorti eder.
- ı) Cam ambalaj üretiminde mahal ısıtma için atık gaz geri dönüşüm sisteminin kullanımı konusunda kurs düzenlenmesi (Bevan ve Deakin, 1985).

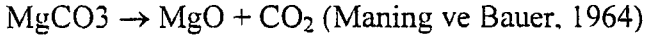
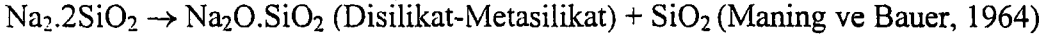
Ek2 Cam Ergitme Fırınındaki Oluşum Entalpileri ve Diğer Termofiziksel Bilgi

Kimyasal Reaksiyonlar

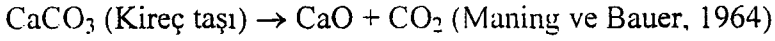
789 °C' da



837 °C' da



900 °C' da



Ergime Reaksiyonları

851 °C' da

Na_2CO_3 ergiyor (Dikeç, 1982)

1070 °C' da

$\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2$ ergiyor (Dikeç, 1982)

Feldspat ergiyor (Dikeç, 1982)

1200 °C' da

SiO_2 ergiyor (Dikeç, 1982)

CaO ergiyor (Dikeç, 1982)

Ek3 Cam Ergitme Fırınının Tam Kapasitede Çalışması Durumunda Bilgisayar Programı Çıktıları

678,5
4,6
26,94
15,64

Çekilecek Brüt Cam (ton/gün)

Harmandaki Nem (%)

Harmada Cam Kırığı Oranı (%)

Harmandan Çıkan CO2 Mik. (%)

900°C(1173K) - 1070°C(1343K) 87.4 kg

CaCO₃ (Kireç Taşı) → CaO + CO₂

Oluşum Entalpisi	Girenler CaCO3	Çıkanlar CaO	CO2	ERGİME ENERJİSİ				Ergime Isısı(kcal/kmol)	kmol/h	Enerji(kmol/h)	0,0	0,0	
				PbO									
Oluşum Entalpisi	-288400	-151600	-94050	h-1173K				h-1243K				h-1173K	
Oluşum Entalpisi	42750	30,0	1280870,969	1273				1273				1173	
	kcal/kmol	kmol/h	kcal/h	Tgiriş(K)				Tgiriş(K)				Top Son(kmol/h)	
				h(kcal/kmol)				h(kcal/kmol)				Toplam Hammadde(Uh)	
				1173				1173				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273				1273				Toplam Hammadde(Uh)	
				1273									

Girenler	Çıkanlar	
CaCO ₃	CaO	CO ₂
-288400	-151800	-84050
42750	0	0
kcal/kmol	kmol/h	kcal/h

Oluşum Entalpisi
Oluşum Entalpisi

Top (kmol/ Top Sor(ku Topkiş(K) Tgılış(K) h(kcal/kmol)

Toplam Cam(ℓ/h)
Toplam Hammadde(ℓ/h)

CaCO ₃	0,0	0,0	1343	1273	24,88T+(0,5*5,24T)/1000+(6,2T)/100000	38273,78	36045,40	2228,38	0,0	CaCO ₃ (ℓ/h)	100,0	0,0	0
Na ₂ CO ₃	0,0	0,0	1343	1273	33,88T+(0,5*5,18T)/1000	50306,59	47453,71	2852,88	0,0	CaCO ₃ (ℓ/h)	108,0	0,0	0
SiO ₂	148,4	148,4	1343	1273	13,38T+(0,5*3,88T)/1000+(3,45T)	21288,06	20014,52	1273,54	188938,2	Na ₂ CO ₃	60,0	148,4	8901,397
Feldspar									0,0	SiO ₂	0,0	0,0	0
SiO ₂	3,0	3,0	1343	1273	15,70T+(0,5*5,4T)/1000	25954,95	24361,53	1593,42	0,0	Feldspar	0,0	0,0	0
K ₂ (Na ₂)O	2,5	2,5	1343	1273	25,48T+(0,5*4,25T)/1000+(8,82T)/100000	38052,39	35879,86	2172,73	4784,0	SiO ₂	62,0	3,0	185,3667
Al ₂ O ₃	0,0	0,0	1343	1273	23,48T+(0,5*18,08T)/1000+(3,55T)/100000	47834,02	44536,15	3297,87	5467,2	K ₂ (Na ₂)O	102,0	2,5	258,6615
Dolomit									0,0	Al ₂ O ₃			
MgCO ₃	0,0	0,0	1343	1273	18,82T+(0,5*13,80T)/1000+(4,18T)/100000	37451,84	34884,91	2566,93	0,0				
CaCO ₃	0,0	0,0	1343	1273	33,80T+(8,43T)/100000	45393,40	43027,40	2366,00	0,0				
BaSO ₄	0,0	0,0	1343	1273	19,18T+(0,5*28,08T)/1000	49273,72	45544,36	3729,35	0,0				
K ₂ CO ₃	0,0	0,0	1343	1273	83,4T	125436,20	118898,20	6538,00	0,0				
Na ₃ AlF ₆	0,0	0,0	1343	1273	9,05T+(0,5*8,40T)/1000	17925,83	16706,34	1219,48	0,0				
PbO	0,0	0,0	1343	1273	18,87T+(0,5*2,10T)/1000	27236,24	25723,07	1513,18	0,0				
Na ₂ B ₄ O ₇	0,0	0,0	1343	1273	11,87T+(0,5*1,22T)/1000+(2,18T)/100000	17041,84	16099,03	942,60	0,0				
ZnO	0,0	0,0	1343	1273	10,18T+(0,5*1,74T)/1000+(1,48T)/100000	15240,91	14379,18	861,73	0,0		18	0,0	0
Al ₂ O ₃	0,0	0,0	1343	1273	7,17T+(0,5*2,58T)/1000+(2,84T)/100000	11937,98	11201,69	736,29	2474,5	Nem(1062K-373K)		0,0	0
MgO	0,0	0,0	1343	1273	31,14T+(0,5*9,60T)/1000+(8,47T)/100000	50478,54	47419,76	3058,78	0,0	Cam Kırığı (Cullet)	122	34,4	4196,3
Nam	3,36	3,36	1343	1273	11,88T+(0,5*1,08T)/1000+(1,68T)/100000	16116,59	15180,32	936,27	105209,4	Na ₂ O.SiO ₂	58	30,0	1877,866
Cam Kırığı (Cullet)	34,4	34,4	1343	1273	10,55T+(0,5*2,18T)/1000+(2,04T)/100000	16116,59	15180,32	936,27	32203,8	CaO	44	34,4	1513,42
Na ₂ O.SiO ₂	30,0	30,0	1343	1273					TOPLAM	367109	(1070C-1000C) için		18731,01
CaO	34,4	34,4	1343	1273									
CO ₂													

am Enerji (kcal)

4210502 (789C-25C)
 0 NaB4O7
 18953861 Na2O.2SiO2
 0 MgO
 272288 (837C-789C)
 0 PbO
 -7291931 Na2O.SiO2
 0 K2O.SiO2
 353253 (900C-837C)
 1280871 CaO
 555037 (1000C-900C)
 367109 (1070C-1000C)
 429949 Na2O.SiO2
 65424 Al2O3
 569276 CaO
 534084 SiO2
 0 Fe2O3
 0 BaO
 0 BaO
 K2(Na2)O
 313522 (1125C-1070C)
 2386738 Cam Kırığı (cullet)
 22999981 TOPLAM (kcal)

96,3 TOPLAM (kJ*10E6/h)

35,4 Isınma Isısı (kJ*10E6)
 54,2 Oluşum Isısı (kJ*10E6)
 6,7 Ergime Isısı (kJ*10E6)

Stand By (yüzey kay.)

9889425 Konveksiyon(kcal)

3447945 Radyasyon(Fınn Alanı)(kcal)

451128 Radyasyon(Delikler)(kcal)

13788498 TOPLAM (kcal)

57,7 Toplam SLBy (kJ*10E6/h)

37,8 Bacadan Atılan Enerji(kJ*10E6)

191,8 Yakıt Enerjisi(kJ*10E6/h)

239,03 Yakıt Harcaması (kmol/h)
 5354,3 Yakıt Harcaması (Nm3/h)
 5302,0 Olması Gereken(Nm3/h)
 1,0 Hata Payı (%)

Isınma Enerjisi+SuyunBuharlaşması

Ergime Isısı

Oluşum Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Isınma Enerjisi

Ergime Isısı

Oluşum Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Isınma Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Isınma Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Isınma Enerjisi

7616 Cam Kırığı (kg)

Feldsparın 1200C erimesi mantığı ile

%

36,8

56,3

7,0

Alan (m2)	h (kcal/hm2K)	Yüzey Sic (C)	Dış Sic (C)
1500	7	250	25

Alan (m2)	Stefen-Bolzman(kJ)	Yüzey Sic (K)	Dış Sic (K)	Emisivite
1500	5,68	523	293	0,8
		5,23	2,93	
1,8	5,68	1533	293	0,8
		15,33	2,93	

158673 Baca Kaybı (kJ/kmol)

802303 Yakıt(kJ/kmol)

0,803 Verim

450 Baca Sıcaklığı

Ek4 Cam Ergitme Fırınının Yarım Kapasitede Çalışması Durumunda Bilgisayar Programı Çıktıları

Çekilecek Brüt Cam (ton/gün)	498,5
Harmandaki Nem (%)	4,6
Harmada Cam Kırığı Oranı (%)	15
Harmandan Çıkan CO2 Mik. (%)	15,62

CAM ÇEŞİTLERİ

Cam Tipi	Kodu	HARMAN (İçerik) (%)										Harman Toplamı				
		<u>CaCO₃</u>	<u>Na₂CO₃</u>	<u>SiO₂</u>	<u>Fe₂O₃</u>	<u>MgO.CaO.2CO₂</u>	<u>BaSO₄</u>	<u>K₂CO₃</u>	<u>Na₃AlF₆</u>	<u>PbO</u>	<u>Na₂B₄O₇</u>	<u>ZnO</u>	<u>Al₂O₃</u>	<u>MgO</u>	(Cam Kırığı vs. Men Kırığı)	
1	1	16,60	20,20	55,30	7,90	5,45	1,03	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
2	2	4,34	18,02	56,45	6,53	4,51	0,85	1,18	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3	3	16,74	19,01	56,84	7,57	5,22	0,98	1,36	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
4	4	15,28	18,62	55,91	8,02	6,22	1,17	1,62	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
5	5	8,23	20,80	57,09	5,14	3,55	0,67	0,93	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
6	6	0,17	0,00	68,40	14,05	9,99	1,83	2,53	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
7	7	0,00	23,74	44,09	17,54	12,10	2,28	3,16	0,05	0,00	0,00	1,22	0,00	1,09	0,00	100,00
8	8	0,00	0,00	49,40	0,50	0,35	0,07	0,09	0,02	0,00	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	100,00
9	9	0,00	0,00	52,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	1,94	0,00	0,00	0,00	100,00
10	10	11,95	17,91	53,65	11,90	8,21	1,55	2,14	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
11	11	17,15	0,00	43,09	3,13	2,16	0,41	0,56	0,25	16,16	0,00	0,00	0,00	8,30	11,48	100,00
12	12	0,41	14,25	42,65	15,45	10,66	2,01	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
13	13	0,00	1,54	51,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
14	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Diğer																
?	?															
?	?															

Saçılan Camın Kodu

1

1,42

0,00

0,00

0,00

0,00

0,00

100,00

25°C(289K) -789°C(1062K)100kg

[illegible]

Girenler		Çıkanlar		CO2	
CaCO3	-288400	CaO	-151600	-94050	
	42750		0	0	
	kcal/kmol	kmol/h	kcal/h		
Top (kmol/		Top Son(ka	T çıkış(K)	T giriş(K)	h(kcal/kmol)
Toplam Cam(t/h)					
CaCO3	0,0	0,0	1343	1273	24,88T+(0,5*5,24T)/1000+(0,2T)/100000
Na2CO3	0,0	0,0	1343	1273	33,98T+(0,5*6,18T)/1000
SiO2	147,5	147,5	1343	1273	13,38T+(0,5*3,68T)/1000+(3,45T)
Feldspar					
SiO2					
K2/(Na2)O	3,0	3,0	1343	1273	16,70T+(0,5*5,4T)/1000
Al2O3	2,5	2,5	1343	1273	26,48T+(0,5*4,25T)/1000+(0,82T)/100000
Fe2O3	0,0	0,0	1343	1273	23,48T+(0,5*18,08T)/1000-(0,55T)/100000
Dolomit					
MgCO3	0,0	0,0	1343	1273	18,62T+(0,5*13,80T)/1000-(0,18T)/100000
CaCO3					
BaSO4	0,0	0,0	1343	1273	33,80T+(0,5*43T)/100000
K2CO3	0,0	0,0	1343	1273	19,19T+(0,5*28,06T)/1000
Na3AlF6	0,0	0,0	1343	1273	83,4T
PbO	0,0	0,0	1343	1273	9,05T+(0,5*8,40T)/1000
Na2B4O7	0,0	0,0	1343	1273	18,87T+(0,5*2,10T)/1000
ZnO	0,0	0,0	1343	1273	11,87T+(0,5*1,22T)/1000+(0,18T)/100000
Al2O3	0,0	0,0	1343	1273	10,18T+(0,5*1,74T)/1000+(0,148T)/100000
MgO	0,0	0,0	1343	1273	7,17T+(0,5*2,58T)/1000+(0,284T)/100000
Nem	3,91	3,91	1343	1273	7,17T+(0,5*2,58T)/1000+(0,284T)/100000
Cam Kırığı (Cullet)					
Na2O.SiO2	34,2	34,2	1343	1273	31,14T+(0,5*9,80T)/1000-(0,47T)/100000
CaO	29,8	29,8	1343	1273	11,88T+(0,5*1,08T)/1000-(0,188T)/100000
CO2	34,2	34,2	1343	1273	10,55T+(0,5*2,18T)/1000-(0,204T)/100000

Toplam Enerji (kcal)

4191773	(789C-25C)
0	NaB4O7
18844414	Na2O.2SiO2
0	MgO
270987	(837C-789C)
0	PbO
-7249824	Na2O.SiO2
0	K2O.SiO2
351575	(900C-837C)
1273475	CaO
552417	(1000C-900C)
365408	(1070C-1000C)
427466	Na2O.SiO2
65046	Al2O3
565989	CaO
531000	SiO2
0	Fe2O3
0	BaO
0	BaO
	K2(Na2)O
312052	(1125C-1070C)
976368	Cam Kırığı (cullet)
21478145	TOPLAM (kcal)
89,9	TOPLAM (kJ*10E6/h)
29,4	Isınma Isısı (kJ*10E6)
53,9	Oluşum Isısı (kJ*10E6)
6,7	Ergime Isısı (kJ*10E6)

Stand By (yüzey kay.)

9889425 Konveksiyon(kcal)

3447945 Radyasyon(Fınn Alanı)(kcal)

451128 Radyasyon(Delikler)(kcal)

13788498 TOPLAM (kcal)

57,7 Toplam St.By (kJ*10E6/h)

36,2 Bacadan Atılan Enerji(kJ*10E6)

183,8 Yakıt Enerjisi(kJ*10E6/h)

229,14 Yakıt Harcaması (kmol/h)
 5132,8 Yakıt Harcaması (Nm3/h)
 5180,0 Olması Gereken(Nm3/h)
 -0,9 Hata Payı (%)

Isınma Enerjisi+SuyunBuharlaşması

Ergime Isısı
Oluşum Enerjisi
Oluşum Enerjisi
Isınma Enerjisi
Ergime Isısı
Oluşum Enerjisi
Oluşum Enerjisi
Isınma Enerjisi
Oluşum Enerjisi
Isınma Enerjisi
Isınma Enerjisi
Ergime Enerjisi
Ergime Enerjisi
Ergime Enerjisi
Ergime Enerjisi
Ergime Enerjisi
Oluşum Enerjisi
Ergime Enerjisi
Ergime Enerjisi
Isınma Enerjisi
Isınma Enerjisi
3116 Cam Kırığı (kg)

Feldsparın 1200C erimesi mantığı ile

%	32,7		
	59,9		
	7,4		
Alan (m2)	h (kcal/hm2K)	Yüzey Sic (C)	Dış Sic (C)
1500	7	250	25

Alan (m2)	Stefen-Bolzman(kJ)	Yüzey Sic (K)	Dış Sic (K)	Emisivite
1500	5,68	523	293	0,6
		5,23	2,93	
1,8	5,68	1533	293	0,8
		15,33	2,93	

158673 Baca Kaybı (kJ/kmol)

802303 Yakıt(kJ/kmol)

0,803 Verim

450 Baca Sıcaklığı

418,1
0
100
0

Çekilecek Brüt Cam (ton/gün)

Harmandaki Nem (%)

Harmada Cam Kırığı Oranı (%)

Harmandan Çıkan CO2 Mik. (%)

ERGLIME Na₂O.SiO₂, CaO, Al₂O₃, SiO₂, Cam Kingi

[illegible]

Enerji (kcal)

0 (789C-25C)
 0 NaB4O7
 0 Na2O.2SiO2
 0 MgO
 0 (837C-789C)
 0 PbO
 0 Na2O.SiO2
 0 K2O.SiO2
 0 (900C-837C)
 0 CaO
 0 (1000C-900C)
 0 (1070C-1000C)
 0 Na2O.SiO2
 0 Al2O3
 0 CaO
 0 SiO2
 0 Fe2O3
 0 BaO
 0 BaO
 K2(Na2)O
 0 (1125C-1070C)

5459306 Cam Kırğı (cüllet)

5459306 TOPLAM (kcal)

22,9 TOPLAM (kJ*10E6/h)

22,9 Isınma Isısı (kJ*10E6)
 0,0 Oluşum Isısı (kJ*10E6)
 0,0 Ergime Isısı (kJ*10E6)

Stand By (yüzey kay.)

9889425 Konveksiyon(kcal)

3447945 Radyasyon(Fırın Alanı)(kcal)

451128 Radyasyon(Delikler)(kcal)

13788498 TOPLAM (kcal)

57,7 Toplam St.By (kJ*10E6/h)

19,8 Bacadan Abılan Enerji(kJ*10E6)

100,3 Yakıt Enerjisi(kJ*10E6/h)

125,06 Yakıt Harcaması (kmol/h)

2801,4 Yakıt Harcaması (Nm3/h)

2660,0 Olması Gereken(Nm3/h)

5,0 Hata Payı (%)

Isınma Enerjisi+SuyunBuharlaşması

Ergime Isısı

Oluşum Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Isınma Enerjisi

Ergime Isısı

Oluşum Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Isınma Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Isınma Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Oluşum Enerjisi

Ergime Enerjisi

Ergime Enerjisi

Isınma Enerjisi

Isınma Enerjisi

17421 Cam Kırğı (kg)

Feldspatın 1200C erimesi mantığı ile

%

100,0

0,0

0,0

Alan (m2)	h (kcal/m2K)	Yüzey Sic (C)	Diş Sic (C)
1500	7	250	25

Alan (m2)	Stefen-Bolzmann(kJ)	Yüzey Sic (K)	Diş Sic (K)	Emisivite
1500	5,68	523	293	0,6
		5,23	2,93	
1,8	5,68	1533	293	0,8
		15,33	2,93	

158673 Baca Kaybı (kJ/kmol)

802303 Yakıt(kJ/kmol)

0,803 Verim

450 Baca Sıcaklığı

Ek 6

2000

ve 2001

Yıllarına

Ait Bazı

Ayların

Ortalama

Rakamları

Tutarları

Rakamları

Tutarları

Rakamları

Tutarları

Rakamları

Tutarları

Rakamları

Tutarları

TARİH	BC	HY	K5T	CK	OY	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	YH	LO1	LO2
01.05.2000	675,5	0,25	58,7	25,78	150,77	1230	1210	850	960	730	256	54800	1449	15000
02.05.2000	676,7	0,24	77,2	25,97	151,29	1234	1214	854	964	734	253	55008	1446	1502
03.05.2000	665,8	0,25	70,0	26,14	153,45	1229	1209	849	959	729	233	54733	1446	1501
04.05.2000	630,5	0,18	52,3	25,90	160,42	1197	1177	817	927	697	269	52958	1447	1507
05.05.2000	621,7	0,12	35,2	25,99	161,28	1166	1146	786	896	666	338	51260	1447	1511
06.05.2000	627,8	0,11	44,0	26,12	159,07	1157	1137	777	887	657	372	50733	1444	1502
07.05.2000	625,5	0,10	44,3	26,20	159,60	1163	1143	783	893	663	376	51058	1440	1503
08.05.2000	678,0	0,09	36,8	26,04	158,49	1159	1139	779	889	659	340	50850	1449	1509
09.05.2000	579,2	0,11	43,6	25,35	167,78	1120	1100	740	850	630	354	48808	1441	1516
10.05.2000	499,7	0,09	40,8	26,14	186,56	1070	1050	690	800	570	245	46000	1450	1519
11.05.2000	503,8	0,09	54,8	25,85	184,61	1071	1051	691	801	571	260	46042	1448	1522
12.05.2000	519,3	0,11	49,9	26,95	179,93	1079	1059	699	809	579	279	46425	1455	1525
13.05.2000	593,0	0,10	38,3	27,56	164,26	1128	1108	748	858	628	317	49183	1449	1519
14.05.2000	625,7	0,10	35,4	26,87	158,54	1159	1139	779	889	659	318	50850	1448	1506
15.05.2000	629,7	0,11	41,4	27,21	157,95	1166	1146	786	896	666	331	51258	1443	1502
16.05.2000	655,3	0,19	54,9	27,04	153,88	1199	1179	819	929	699	306	53083	1448	1504
17.05.2000	673,0	0,18	50,5	26,92	151,17	1219	1199	839	949	719	299	54150	1452	1509
18.05.2000	677,5	0,19	58,9	26,79	150,57	1229	1209	849	959	729	263	54750	1447	1506
19.05.2000	675,2	0,31	65,1	27,3	151,11	1229	1209	849	959	729	277	54750	1459	1513
20.05.2000	678,2	0,23	55,4	27,16	149,08	1223	1203	843	953	723	290	54375	1453	1509
21.05.2000	677,5	0,23	52,0	26,79	149,81	1227	1207	847	957	727	287	54608	1450	1516
22.05.2000	675,8	0,29	63,7	27,01	150,76	1232	1212	852	962	732	257	55133	1448	1512
23.05.2000	676,3	0,32	59,7	27,11	150,12	1228	1208	848	958	728	266	55150	1446	1519
24.05.2000	678,5	0,34	65,1	26,94	151,59	1234	1214	854	964	734	302	55450	1445	1509
25.05.2000	673,8	0,38	46,5	25,48	153,04	1237	1217	857	967	739	317	55609	1440	1511
26.05.2000	652,3	0,37	62,3	24,93	153,82	1225	1205	845	955	725	296	55000	1451	1512
27.05.2000	641,0	0,47	65,4	25,12	157,67	1213	1193	833	943	713	278	54317	1451	1518
28.05.2000	641,3	0,48	64,8	24,90	157,52	1216	1196	836	946	716	273	54467	1455	1514
29.05.2000	642,5	0,39	51,1	24,85	156,98	1215	1195	835	945	715	277	54450	1455	1514
30.05.2000	639,3	0,41	58,9	25,34	158,07	1213	1193	833	943	713	318	54300	1449	1511
31.05.2000	641,7	0,44	59,8	25,04	157,49	1209	1189	829	939	709	292	54108	1449	1511

0,47 63% 2

1/26

5/2000

K₀ 20

LO3	LO4	LO5	LO6	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
1556	1587	1565	1516	1400	1466	1528				1526	1467	1384	1389	983
1555	1587	1563	1512	1397	1466	1527				1526	1463	1380		979
1561	1586	1564	1508	1400	1467	1527				1528	1467	1382	1335	975
1562	1582	1557	1509	1399	1469	1530	1544			1525	1469	1384	1338	976
1560	1581	1555	1514	1397	1468	1528	1543			1524	1473	1387	1341	980
1555	1557	1557	1516	1393	1460	1523	1537			1521	1474	1386	1340	980
1554	1558	1558	1512	1391	1459	1523	1535			1519	1473	1385	1339	980
1553	1578	1559	1516	1398	1462	1524	1535			1520	1471	1386	1341	981
1554	1576	1555	1514	1401	1467	1531	1533			1517	1471	1387	1344	980
1563	1575	1552	1508	1407	1476	1538	1529			1509	1462	1385	1342	982
1563	1574	1552	1508	1409	1477	1537	1528			1509	1461	1384	1340	985
1562	1576	1552	1503	1408	1475	1538	1531			1512	1463	1384	1340	987
1560	1581	1554	1514	1405	1467	1531	1536			1520	1469	1386	1342	986
1558	1579	1552	1514	1402	1462	1524	1534			1519	1468	1383	1338	982
1552	1578	1550	1513	1394	1459	1524	1531			1517	1466	1382	1338	980
1553	1581	1554	1514	1397	1461	1523	1534			1521	1466	1381	1336	979
1555	1583	1563	1510	1394	1457	1520	1535			1520	1464	1379	1334	979
1555	1584	1557	1511	1400	1458	1521	1537			1521	1462	1378	1333	979
1556	1586	1559	1509	1406	1461	1524	1535			1518	1462	1378	1333	978
1560	1586	1555	1507	1404	1458	1521	1532			1516	1461	1377	1333	979
1550	1583	1553	1506	1398	1460	1522	1532			1517	1460	1377	1332	979
1557	1586	1555	1510	1402	1464	1526	1537			1521	1461	1378	1332	980
1558	1587	1560	1514	1399	1464	1523	1537			1523	1463	1378	1332	980
1552	1587	1562	1508	1394	1459	1518	1537			1524	1466	1380	1332	979
1556	1587	1561	1512	1397	1462	1521	1539			1526	1470	1384	1336	982
1564	1588	1562	1511	1399	1466	1525	1540			1524	1466	1382	1336	987
1564	1586	1558	1509	1399	1465	1524	1536			1519	1461	1377	1334	990
1562	1586	1560	1512	1404	1467	1525	1538			1521	1461	1378	1334	991
1562	1586	1562	1512	1404	1467	1529	1537			1519	1462	1379	1334	992
1560	1587	1561	1509	1401	1465	1527	1539			1522	1464	1380	1334	993
1560	1587	1562	1513	1403	1465	1529	1541			1524	1466	1382	1335	992

K12	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	EC	DC	EB	DB
927	1180	1212	1249		1249	1169	1015	1425	1104	0,21	1,20
924	1175	1208	1246		1248	1167	1011	1421	1100	0,20	1,24
922	1173	1213	1247		1247	1164	1009	1420	1099	0,24	1,19
923	1183	1223	1257		1249	1164	1008	1425	1099	0,24	1,17
924	1190	1231	1264		1252	1168	1011	1428	1100	0,22	1,12
924	1187	1228	1261		1253	1169	1012	1428	1100	0,26	1,20
924	1200	1227	1261		1251	1168	1011	1428	1100	0,26	1,23
924	1184	1227	1260		1252	1169	1012	1428	1100	0,26	1,25
927		1235	1267		1252	1168	1011	1429	1100	0,26	1,22
930		1261	1290		1251	1165	1008	1430	1100	0,28	1,12
931		1261	1290		1253	1166	1009	1430	1100	0,31	1,08
929		1260	1289		1254	1168	1010	1430	1100	0,32	1,21
925		1246	1276	1304	1256	1171	1012	1430	1100	0,31	1,21
923		1235	1266	1285	1256	1171	1013	1426	1100	0,27	1,16
924		1229	1260	1280	1255	1170	1013	1425	1100	0,23	1,15
923		1224	1255	1276	1253	1170	1013	1423	1100	0,21	1,14
923		1219	1250	1270	1249	1170	1013	1422	1100	0,24	1,11
923		1215	1247	1268	1247	1169	1012	1420	1100	0,25	1,08
923		1216	1249	1269	1247	1169	1012	1420	1100	0,23	1,09
923		1215	1247	1267	1246	1168	1012	1420	1100	0,29	1,12
923		1212	1246	1266	1245	1168	1012	1420	1100	0,32	1,18
924		1214	1248	1266	1245	1167	1011	1420	1100	0,28	1,22
924		1214	1249	1266	1244	1167	1010	1420	1100	0,22	1,21
923		1213	1246	1264	1243	1166	1010	1421	1100	0,20	1,19
924		1218	1251	1268	1246	1169	1011	1424	1102	0,31	1,10
929		1223	1256	1273	1246	1172	1016	1424	1108	0,31	1,13
933		1226	1259	1275	1244	1174	1020	1422	1110	0,25	1,14
933		1230	1262	1278	1246	1175	1021	1422	1110	0,21	1,19
933		1230	1262	1278	1246	1176	1021	1422	1110	0,23	1,26
934		1228	1260	1277	1247	1177	1022	1422	1110	0,25	1,27
932		1226	1259	1277	1245	1175	1020	1422	1108	0,24	1,23

(30)

F'g'f'm
(30)

D'ind'idi

F'g'f'm

F'g'f'm
(30)

TARIH	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F28	F28	F30	F31	F32	F33	F34
01.01.2001	621,5	24,74	153,78	128	4,7	835	178,70	5705	5268	1214	1214	874	984	714	303	119550	12,9	8900	52000	23,1	9,92	1452	1526	1563	1582	1557	1508	1450	1521	1558	1573	1550	1505		
02.01.2001	620,7	24,79	153,85	129	4,7	838	179,58	5740	5283	1208	1208	868	978	708	315	119880	13,2	8900	51675	21,5	9,82	1456	1521	1562	1582	1554	1509	1455	1521	1555	1576	1548	1505		
03.01.2001	621,5	25,02	155,47	129	4,7	833	180,03	5855	5388	1222	1222	882	992	722	350	120437	12,8	8900	52417	24,4	9,82	1458	1512	1559	1580	1553	1510	1451	1519	1556	1573	1549	1507		
04.01.2001	624,3	24,88	155,36	129	4,6	839	182,56	5850	5378	1229	1229	889	999	729	303	122681	12,8	8900	52742	25,0	9,80	1455	1525	1558	1582	1556	1509	1450	1518	1557	1578	1552	1507		
05.01.2001	621,8	24,78	154,10	128	4,7	838	183,15	5855	5383	1227	1227	887	997	727	320	122582	14,2	8900	52642	20,7	9,79	1453	1517	1562	1583	1559	1510	1452	1517	1557	1578	1558	1508		
06.01.2001	621,0	25,16	156,23	130	4,6	845	183,84	5930	5385	1224	1224	884	994	724	337	122888	13,6	8900	52467	22,9	9,73	1457	1525	1563	1583	1553	1511	1453	1517	1559	1577	1550	1509		
07.01.2001	620,7	24,78	153,85	128	4,6	839	182,93	5820	5373	1224	1224	884	994	724	323	122239	13,0	8900	52467	25,5	9,78	1457	1525	1562	1582	1556	1510	1453	1519	1559	1577	1552	1508		
08.01.2001	621,8	24,74	153,86	128	4,6	849	181,34	5800	5357	1223	1223	883	993	723	312	121374	13,0	8900	52425	26,7	9,85	1461	1526	1560	1582	1554	1508	1452	1520	1556	1576	1548	1505		
09.01.2001	622,3	24,90	154,96	129	4,6	846	180,94	5780	5347	1222	1222	882	992	722	303	121199	13,2	8900	52400	26,4	9,86	1459	1523	1565	1581	1555	1507	1452	1515	1556	1578	1548	1505		
10.01.2001	626,5	24,94	156,23	130	4,6	838	180,59	5770	5333	1222	1222	882	992	722	293	121768	13,0	8900	52400	22,1	9,81	1458	1516	1563	1579	1557	1508	1452	1515	1556	1578	1548	1505		
11.01.2001	623,5	24,85	154,93	129	4,8	844	182,14	5810	5352	1221	1221	881	991	721	317	122244	12,8	8900	52350	22,6	9,76	1454	1515	1557	1580	1552	1508	1450	1514	1555	1578	1548	1505		
12.01.2001	623,8	24,83	154,89	129	4,8	837	183,40	5900	5383	1227	1227	887	997	727	318	123144	13,0	8900	52650	22,0	9,75	1445	1511	1557	1580	1554	1508	1441	1513	1555	1578	1548	1505		
13.01.2001	629,7	25,00	157,42	131	4,7	846	183,06	5940	5418	1234	1234	894	1004	734	317	124079	12,4	8900	53058	18,7	9,75	1456	1522	1560	1583	1552	1507	1445	1518	1556	1578	1548	1505		
14.01.2001	631,0	24,98	157,61	131	4,8	841	183,70	5945	5422	1234	1234	894	1004	734	320	124768	12,6	8900	53050	18,2	9,69	1455	1522	1560	1583	1553	1506	1448	1518	1558	1582	1551	1503		
15.01.2001	635,3	24,20	153,73	132	4,7	842	181,68	5940	5420	1233	1233	893	1003	733	327	124238	13,1	8900	52967	21,3	9,72	1457	1518	1561	1584	1554	1507	1449	1515	1556	1584	1552	1506		
16.01.2001	648,7	23,23	150,71	137	4,6	837	179,23	6010	5483	1244	1244	904	1014	744	335	125153	13,2	8900	53517	20,9	9,75	1449	1514	1557	1583	1555	1507	1437	1511	1555	1583	1554	1505		
17.01.2001	651,5	22,48	146,46	140	4,6	841	179,23	5955	5498	1251	1251	911	1021	751	312	125692	13,0	8900	53900	20,2	9,78	1452	1508	1555	1582	1553	1506	1446	1507	1552	1581	1550	1504		
18.01.2001	653,5	21,17	138,37	140	4,6	843	180,65	6030	5568	1263	1263	923	1033	783	325	127078	13,1	8900	54800	20,5	9,83	1450	1512	1557	1582	1553	1510	1439	1506	1554	1578	1552	1508		
19.01.2001	651,3	20,40	132,89	143	4,7	846	182,71	5995	5570	1269	1269	929	1039	789	290	128334	12,8	8900	56008	17,0	9,95	1457	1519	1560	1584	1557	1507	1448	1507	1553	1578	1550	1508		
20.01.2001	653,0	19,79	129,21	144	4,7	851	183,56	5920	5600	1280	1280	950	1060	790	287	129020	13,2	8900	56250	18,7	9,94	1455	1513	1558	1581	1555	1507	1448	1507	1553	1578	1550	1508		
21.01.2001	651,8	20,08	130,87	145	4,6	838	182,90	5815	5525	1275	1275	945	1055	785	276	128334	12,8	8900	56008	17,0	9,95	1457	1519	1560	1584	1557	1507	1448	1507	1553	1578	1550	1508		
22.01.2001	653,0	19,98	130,48	144	4,6	839	182,58	5595	5530	1269	1269	939	1049	779	290	128334	12,8	8900	56008	17,0	9,95	1457	1519	1560	1584	1557	1507	1448	1507	1553	1578	1550	1508		
23.01.2001	651,7	19,96	130,10	144	4,6	841	178,36	5590	5494	1272	1272	942	1052	782	312	125121	12,6	8900	55833	19,4	10,17	1447	1509	1552	1582	1553	1507	1443	1506	1554	1578	1552	1508		
24.01.2001	651,5	19,91	129,71	144	4,6	854	174,55	5845	5575	1280	1280	950	1060	790	285	122411	13,7	8900	56283	21,1	10,48	1451	1508	1557	1583	1553	1507	1437	1510	1554	1575	1558	1505		
25.01.2001	644,0	20,00	128,79	143	4,6	857	177,15	6000	5662	1282	1282	952	1062	792	283	122798	13,0	8900	56333	17,8	10,46	1451	1508	1557	1582	1553	1507	1443	1506	1554	1578	1552	1508		
26.01.2001	618,8	19,94	123,35	137	4,7	845	180,01	5990	5533	1253	1253	923	1033	763	310	119884	12,4	8900	54917	20,0	10,44	1458	1520	1559	1582	1554	1508	1452	1517	1566	1580	1554	1507		
27.01.2001	620,2	20,03	124,25	138	4,7	847	176,84	5910	5482	1240	1240	910	1020	750	320	118058	12,0	8900	54692	23,6	10,56	1452	1520	1555	1582	1549	1507	1441	1515	1560	1578	1552	1504		
28.01.2001	620,7	19,86	123,24	137	4,7	845	173,27	5820	5407	1228	1228	898	1008	738	307	115768	12,7	8900	54017	24,9	10,64	1454	1518	1554	1582	1551	1505	1445	1514	1551	1575	1549	1504		
29.01.2001	619,5	20,04	124,13	138	4,7	837	173,76	5800	5388	1223	1223	893	1003	733	313	115779	12,8	8900	53750	27,2	10,58	1453	1511	1557	1582	1558	1509	1441	1510	1552	1571	1556	1507		
30.01.2001	621,0	19,92	123,71	137	4,7	841	173,12	5820	5373	1219	1219	889	999	729	318	115723	13,0	8900	53600	24,7	10,58	1455	1517	1553	1580	1552	1504	1440	1512	1553	1570	1550	1503		
31.01.2001	621,8	18,89	123,67	137	4,7	854	177,14	5800	5370	1219	1219	889	999	729	315	118560	12,8	8900	53567	24,2	10,30	1455	1517	1554	1581	1550	1503	1437	1508	1547	1569	1546	1501		
01.02.2001	620,5	19,92	123,59	137	4,7	847	174,55	5830	5402	1223	1223	893	1003	733	327	116581	13,1	8900	53775	19,7	10,52	1449	1510	1553	1580	1549	1503	1438	1503	1552	1569	1546	1501		
02.02.2001	619,3	20,14	124,70	138	4,7	861	176,22	5880	5432	1228	1228	898	1008	738	332	117470	13,0	8900	54050	19,4	10,49	1454	1507	1554	1579	1552	1502	1436	1505	1549	1567	1549	1500		
03.02.2001	620,3	20,15	124,99	137	4,7	847	177,33	5910	5462	1231	1231	901	1011	741	347	118400	12,4	8900	54242	16,3	10,45	1449	1509	1551	1580	1547	1504	1438	1504	1545	1567	1544	1501		
04.02.2001	592,0	23,88	141,38	134	4,6	842	183,11	5820	5377	1206	1206	885	985	727	370	116885	12,7	8900	53058	17,9	10,37	1454	1515	1554	1583	1551	1509	1440	1507	1551	1570	1548	1508		
05.02.2001	552,3	37,80	208,76	130	4,7	848	172,67	5140	4747	1098	1078	823	873	673	200	102652	12,6	8900	48200	22,8	10,71	1479	1543	1580	1593	1564	1519	1467	1531	1573	1582	1567	1516		
06.02.2001	544,3	42,22	230,42	144	4,8	843	165,17	4860	4488	1079	1059	804	854	590	103	97022	12,7	8900	45983	24,1	10,81	1456	1521	15											

1396	F36	F37	F38	F39	F40	F41	F42	F43	F44	F45	F46	F47	F48	F49	F50	F51	F52	F53	F54	F55	F56	F57	F58	F59	F60	F61	F62	F63	F64	F65	F66	F67	F68	F69	F70	F71	
1396	1456	1519	1525			1500	1448	1380	1341	973	933		1186	1258	1268	1250	1170	1031	1426	1107	989	1059	1027	1038	1032	837	1021	1047	1014	1124	1043	919	488	497	428	500	
1401	1456	1519	1524			1498	1449	1379	1339	972	933		1186	1257	1269	1250	1170	1031	1425	1107	988	1060	1028	1035	1033	835	1020	1047	1013	1126	1041	915	476	504	426	489	
1396	1451	1514	1520			1496	1450	1377	1337	971	933		1191	1254	1266	1248	1168	1030	1425	1107	982	1047	1027	1033	1037	837	1020	1045	1008	1117	1040	918	485	496	427	494	
1397	1452	1515	1520			1496	1447	1377	1338	972	932		1190	1253	1267	1249	1169	1030	1425	1107	983	1047	1029	1035	1039	842	1018	1043	1011	1118	1039	920	479	494	429	496	
1400	1452	1515	1521			1497	1449	1378	1337	972	932		1190	1253	1268	1250	1170	1031	1425	1107	981	1046	1030	1033	1040	843	1015	1041	1007	116	1041	920	486	489	431	495	
1401	1451	1514	1520			1497	1449	1378	1337	971	933		1192	1255	1268	1249	1169	1031	1425	1107	980	1045	1029	1031	1041	843	1013	1038	1003	1114	1043	921	462	483	429	493	
1401	1451	1514	1518			1494	1448	1376	1336	972	933		1195	1257	1269	1250	1170	1031	1425	1107	981	1047	1028	1030	1040	844	1014	1039	1005	1111	1044	923	457	481	428	491	
1401	1451	1514	1517			1494	1447	1376	1335	974	932		1196	1256	1268	1250	1170	1031	1425	1107	984	1049	1027	1031	1037	844	1024	1048	1014	1109	1044	924	461	479	428	489	
1400	1453	1516	1518			1493	1448	1375	1336	974	933		1193	1253	1266	1250	1170	1031	1425	1107	986	1051	1027	1032	1035	844	1027	1049	1015	1121	1042	923	474	475	428	491	
1394	1450	1516	1521			1493	1446	1375	1333	972	933		1191	1250	1264	1249	1167	1030	1423	1107	984	1049	1027	1042	1038	850	1025	1046	1009	1133	1038	923	461	485	429	498	
1392	1448	1513	1518			1491	1445	1374	1333	970	934		1190	1250	1264	1248	1168	1029	1423	1107	976	1041	1025	1046	1036	850	1024	1046	1003	1126	1036	921	468	490	425	494	
1388	1448	1513	1518			1492	1447	1376	1335	970	934		1190	1250	1263	1247	1167	1029	1423	1107	971	1037	1027	1049	1035	848	1018	1038	1001	1129	1037	917	457	492	429	497	
1398	1452	1518	1524			1498	1450	1381	1338	971	933		1190	1250	1263	1248	1168	1029	1423	1107	973	1039	1032	1052	1035	848	1017	1038	1001	1130	1040	918	480	489	435	497	
1396	1451	1518	1527			1499	1450	1380	1338	969	932		1191	1252	1265	1248	1168	1029	1423	1107	972	1039	1032	1052	1035	845	1013	1032	1005	1128	1036	916	461	503	437	501	
1395	1452	1517	1527			1500	1451	1381	1337	970	932		1191	1252	1265	1248	1168	1029	1423	1107	975	1042	1032	1053	1033	848	1015	1033	1008	1128	1036	916	461	503	437	501	
1391	1452	1514	1525			1499	1449	1378	1335	970	931		1184	1246	1259	1249	1169	1030	1422	1107	975	1042	1032	1057	1038	851	1018	1035	1012	1135	1039	922	461	508	435	502	
1391	1448	1511	1518			1498	1447	1375	1333	968	932		1177	1240	1255	1248	1168	1030	1420	1107	975	1042	1032	1061	1040	851	1020	1038	1011	1133	1042	922	468	512	441	509	
1390	1448	1510	1520			1496	1446	1374	1333	968	932		1177	1240	1255	1247	1167	1029	1420	1107	976	1040	1032	1059	1043	850	1020	1036	1022	1033	1043	920	465	510	440	518	
1391	1448	1511	1519			1498	1445	1372	1330	968	932		1178	1240	1255	1247	1167	1030	1420	1107	974	1040	1032	1059	1043	850	1020	1036	1022	1033	1043	920	465	510	440	518	
1393	1447	1510	1518			1497	1445	1379	1329	968	932		1179	1241	1256	1248	1168	1030	1420	1107	978	1042	1035	1061	1046	850	1022	1039	1028	1135	1047	920	485	511	441	527	
1393	1448	1511	1519			1497	1446	1374	1331	967	931		1180	1241	1257	1248	1168	1030	1420	1107	978	1043	1037	1062	1046	848	1021	1040	1028	1135	1049	918	467	508	441	524	
1388	1443	1506	1511			1491	1441	1369	1326	967	932		1177	1238	1255	1248	1166	1031	1420	1107	984	1047	1035	1060	1044	848	1018	1040	1026	1132	1048	916	480	514	439	528	
1386	1446	1509	1514			1493	1441	1370	1327	968	932		1175	1238	1254	1248	1168	1031	1420	1107	980	1052	1040	1064	1047	849	1020	1042	1024	1132	1055	922	480	517	439	526	
1390	1448	1511	1517			1494	1442	1371	1330	968	932		1183	1244	1258	1248	1168	1031	1422	1107	1000	1061	1039	1057	1046	847	1025	1046	1029	1134	1057	922	486	526	438	528	
1389	1451	1515	1517			1493	1443	1372	1334	970	932		1194	1254	1266	1249	1169	1031	1425	1107	997	1059	1037	1048	1039	839	1025	1047	1029	1125	1054	921	482	528	438	520	
1393	1450	1513	1516			1493	1447	1373	1335	972	932		1195	1254	1266	1249	1169	1031	1425	1107	986	1049	1031	1048	1033	838	1026	1047	1024	1118	1050	922	478	528	441	523	
1391	1447	1510	1514			1491	1444	1373	1335	973	932		1194	1251	1264	1250	1170	1031	1424	1107	978	1040	1028	1047	1032	838	1015	1038	1018	1121	1043	921	474	514	437	516	
1391	1445	1508	1514			1494	1445	1372	1335	972	934		1189	1247	1261	1249	1169	1031	1423	1107	974	1037	1025	1041	1037	836	1016	1039	1013	1108	1049	920	474	512	435	511	
1392	1445	1508	1512			1492	1445	1373	1335	972	934		1190	1248	1262	1249	1169	1031	1423	1107	975	1037	1023	1042	1043	839	1014	1039	1014	1105	1048	920	474	513	434	511	
1390	1445	1509	1511			1492	1447	1374	1335	972	933		1190	1248	1261	1249	1169	1032	1423	1107	972	1035	1023	1045	1037	838	1016	1040	1014	1104	1045	919	468	508	435	511	
1388	1444	1508	1511			1493	1445	1376	1338	972	933		1190	1247	1261	1250	1170	1032	1423	1107	971	1033	1025	1046	1035	840	1010	1034	1008	1094	1042	916	487	515	433	515	
1390	1444	1505	1510			1493	1444	1376	1338	971	933		1190	1247	1261	1250	1170	1032	1423	1107	970	1033	1027	1046	1035	840	1010	1034	1008	1094	1042	916	487	515	433	511	
1385	1439	1503	1505			1486	1441	1375	1336	970	932		1192	1247	1262	1250	1170	1032	1423	1107	968	1031	1031	1046	1036	842	1009	1033	1010	1095	1043	916	466	515	435	515	
1387	1446	1510	1508			1486	1444	1374	1336	971	934		1196	1251	1266	1249	1169	1031	1427	1107	965	1028	1029	1044	1031	842	1011	1034	1011	1098	1041	917	485	510	432	513	
1415	1475	1535	1531			1508	1456	1388	1346	974	944		1174	1237	1226	1243	1163	1030	1436	1118	964	1026	1023	1030	1029	838	1004	1026	1003	1082	1033	915	445	489	421	496	
1392	1457	1520	1533			1517	1457	1389	1347	982	978		1196	1124	1191	1165	1201	1121	1028	1436	1148	952	1012	1007	1027	1023	924	987	1007	989	1079	1028	903	438	484	416	498
1392	1455	1517	1530			1513	1454	1385	1344	1028	984		1176	1098	1168	1139	1164	1084	1000	1433	1153	949	1010	1005	1028	1012	815	982	1003	986	1079	1021	894	443	490	420	504
1394	1457	1517	1532			1517	1457	1386	1341	1040	987		1158	1084	1152	1138	1155	1075	990	1432	1155	951	1012	1009	1035	1014	815	988	1008	993	1087	1022	896	453	495	426	514
1392	1457	1517	1530			1515	1456	1384	1340	1043	981																										

631	387	514	410	497	441	508	381	48	59	43	58	22	-25	477	448	0,45	113	0,54	3	1	1	3	16	5,00	28	102,8	1	1	100	300	19200		
595	382	515	411	495	438	503	378	50	61	44	60	24	-17	475	446	0,45	110	0,43	3			1	14	5,00	16	117,3	4		100	300	19200		
594	385	516	416	500	440	503	380	51	62	45	62	23	-18	475	446	0,48	109	1,13		1	2	1	14	5,00	5	395,8	4	1	111	300	19715		
616	373	508	405	497	435	522	365	49	59	43	60	20	-16	470	438	0,47	106	1,08	1	3	3	1	19	5,00		300,2			144	300	21300		
609	368	508	403	493	433	517	349	51	62	45	63	22	-19	467	436	0,43	106	1,21			2		22	5,00	5	337,3			150	300	21600		
580	363	507	400	490	432	517	360	55	66	49	67	26	-21	466	434	0,37	105	1,83				1	22	5,00	235	540,8			150	300	21600		
623	364	498	392	482	423	541	356	56	68	50	69	28	-15	461	430	0,41	104	0,97	4	1	1	1	18	5,00	185	191,3			150	300	21600		
594	365	490	386	478	417	530	353	58	71	53	73	28	-22	456	426	0,42	105	0,37		6	1	1	6	5,00	155	92,7	5	5	150	300	21600		
579	361	490	386	477	414	512	353	60	73	54	74	29	-16	445	425	0,41	105	0,32	1	4	1	4	7	5,00	220	85,6	6	1	150	300	21600		
613	366	494	393	476	410	493	354	60	73	53	74	29	-22	458	427	0,39	105	1,61				4	22	5,00	45	305,0			150	300	21600		
560	377	499	401	495	415	512	351	58	71	51	72	27	-19	460	428	0,43	106	1,24			1	4	7	4,00	735	165,1	2	10	135	305	21475		
572	365	490	396	503	415	517	368	56	68	49	69	26	-18	461	428	0,38	104	1,06	1			1	14	3,20	628	228,0	1	7	125	325	21600		
526	366	481	389	500	413	503	368	56	69	49	70	26	-15	459	427	0,32	107	2,66				1	19	3,20	730	336,2	1	1	119	325	20975		
529	358	487	395	504	420	510	356	57	70	51	71	27	-22	463	431	0,35	108	2,47	1		1	7	15	4,00	695	372,5		6	117	333	21600		
532	363	491	397	503	423	537	375	59	73	53	74	29	-20	463	434	0,37	107	1,10	1			1	17	4,00	570	256,6	1	4	150	350	24000		
568	366	492	398	505	425	527	377	63	76	56	77	32	-25	466	437	0,39	106	1,11	1		2		19	4,00	138	504,2	1	1	150	350	24000		
534	368	489	398	505	427	528	361	62	76	56	76	32	-16	468	436	0,35	108	3,16					24	4,00	15	470,1			150	350	24000		
527	357	485	393	502	423	533	371	57	70	50	71	27	-16	460	427	0,36	105	2,35			2		22	5,00		453,1			150	350	23500		
534	365	482	392	503	420	508	353	52	63	45	65	23	-17	468	436	0,39	108	2,35				1	22	5,00		387,2			150	340	22800		
520	351	475	386	494	413	511	362	52	64	46	65	23	-15	457	423	0,40	103	1,27				12	11	5,00		152,7			150	240	20000		
512	343	463	377	481	402	485	350	53	66	47	66	23	-21	448	415	0,39	103	0,96	1			3	11	5,00				1	1	117	163	13400	
514	346	460	382	486	408	515	358	54	67	48	68	25	-27	448	415	0,41	104	1,80	2	2		3	11	5,00				2	1	88	42	6200	
519	350	452	381	484	405	494	361	58	71	52	72	28	-20	447	415	0,39	104	0,61	6	1	1	5	6	4,00				2	1	57	2750	2140	
522	353	448	382	480	403	514	365	60	73	53	73	29	-22	447	417	0,35	105	0,35	1		1	15	3	4,00		40,1		2	1	40			
520	353	444	378	475	399	496	359	57	70	52	71	28	-21	445	412	0,41	104	0,24				9	7	1	4	60,6		7		21			
546	352	453	379	471	396	508	358	57	71	52	72	28	-21	444	413	0,39	104	0,31			4	2	8	5,00		91,2		3			21		
549	356	456	382	473	394	498	360	58	71	52	72	28	-19	447	417	0,35	105	0,38	1		1	7	11	5,00	545	128,4	3						
562	369	458	388	479	403	520	373	58	70	53	72	28	-24	453	424	0,31	105	0,88				6	2	1	14	3,00	676	217,2			1		
537	373	458	389	477	402	524	378	59	72	54	73	29	-26	453	425	0,34	106	1,08			2	4	2	16	3,00	334	154,4	3					
540	378	454	387	473	400	528	381	60	72	54	74	30	-18	453	424	0,37	107	0,65	1			3	13	3,00	257	127,0	4	3					
541	377	451	384	470	395	526	384	61	73	56	75	32	-21	452	422	0,34	106	0,39			1	7	7	5,00	80	78,0	6	2					
530	359	457	387	470	395	518	370	62	73	56	76	32	-21	451	422	0,31	109	0,61	1			4	8	6,00	23	118,8	3	6					
545	381	456	387	467	388	495	385	58	69	52	72	28	-28	449	420	0,34	108	0,33			1	4	3	8,00	73	139,4	1	5					
537	341	460	388	467	389	520	385	60	71	54	74	30	-24	448	419	0,35	104	0,28				12	1	8,00	100	134,7			5				
536	337	456	386	465	386	504	381	57	68	51	71	27	-28	447	418	0,36	107	0,30				17	1	10,00		156,9		1	4				
513	340	461	389	472	387	495	383	57	68	52	71	28	-23	447	419	0,38	105	0,31				15	1	10,00	140	158,8	2	3					
531	341	467	394	474	393	520	388	62	73	56	76	32	-22	449	421	0,40	109	0,33	1			17	5	10,00		175,5	2	3					
519	363	465	393	474	397	522	390	65	75	59	78	34	-18	450	358	0,34	109	0,5				19	2	6,00	110	171,8	1	1					
518	344	464	392	476	391	495	387	63	74	57	78	33	-26	451	422	0,34	110	0,42	2			15	6	6,00	70	139,3			1				
519	344	470	403	489	404	527	391	59	70	53	74	29	-31	456	428	0,38	104	0,48				15	8	6,00	10	200,5	6	1					
536	363	463	397	488	397	497	384	55	67	49	70	25	-16	458	425	0,35	108	0,63	3			19	1	6,00	525	248,8			1				
532	343	467	398	487	398	518	383	55	67	49	70	25	-16	453	423	0,41	108	1,23				21	1	6,00	450	414,0	1						
532	342	467	398	486	397	517	382	55	67	48	70	25	-16	452	422	0,38	107	1,47				19		6,00	720	491,5							

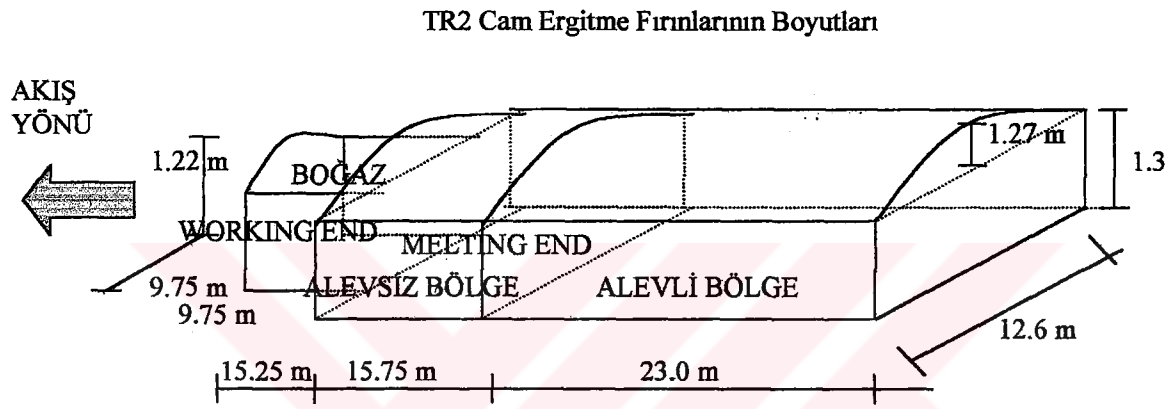
1391	1468	1528	1538	1519	1458	1386	1342	1044	980	1145	1069	1137	1121	1132	1052	961	1435	1148	965	1022	1014	1045	1017	822	1000	1020	1008	1092	1031	900	470	502	420	517
1392	1467	1526	1538	1518	1457	1385	1341	1044	980	1147	1069	1138	1114	1132	1052	960	1435	1148	969	1025	1013	1047	1018	821	1006	1026	1011	1095	1034	897	467	505	415	512
1397	1466	1528	1540	1521	1460	1391	1345	1043	980	1148	1070	1138	1110	1133	1053	961	1435	1148	969	1025	1014	1045	1019	825	1004	1023	1013	1093	1029	896	474	511	430	507
1392	1466	1526	1536	1513	1453	1386	1342	1045	979	1153	1076	1142	1113	1134	1054	963	1433	1148	973	1028	1014	1041	1016	820	1005	1025	1013	1094	1025	890	468	507	429	500
1400	1470	1529	1532	1502	1442	1374	1332	1044	980	1154	1078	1144	1113	1135	1055	963	1428	1149	986	1035	1017	1036	1006	813	1011	1030	1013	1096	1014	882	461	500	426	494
1410	1473	1532	1537	1507	1447	1379	1335	1045	981	1155	1078	1145	1115	1136	1056	964	1425	1149	986	1040	1015	1038	1003	815	1013	1033	1017	1094	1006	880	463	502	425	488
1420	1478	1535	1539	1508	1447	1380	1337	1044	981	1158	1083	1146	1117	1137	1057	967	1430	1148	992	1045	1015	1028	1008	819	1018	1037	1023	1091	1010	885	459	490	422	470
1420	1477	1534	1538	1507	1446	1378	1336	1045	981	1160	1086	1147		1136	1056	967	1430	1148	992	1045	1013	1020	1007	820	1018	1037	1022	1088	1009	886	446	486	416	460
1419	1477	1533	1539	1508	1447	1379	1337	1045	981	1160	1087	1149		1137	1057	967	1430	1148	992	1046	1013	1017	1006	821	1020	1039	1023	1085	1007	887	446	486	413	453
1414	1471	1528	1534	1505	1445	1380	1342	1045	982	1157	1087	1147		1136	1056	966	1427	1151	984	1040	1009	1010	1001	819	1023	1004	1014	1077	1004	890	442	484	416	454
1413	1473	1528	1533	1501	1439	1371	1329	1049	988	1153	1081	1144		1138	1058	973	1422	1155	985	1041	1010	1009	993	815	1021	1038	1007	1075	999	885	447	493	417	459
1419	1468	1526	1534	1503	1441	1373	1329	1047	983	1151	1076	1142		1137	1057	971	1419	1150	974	1031	1028	1006	984	810	1000	1020	1004	1074	993	877	447	471	475	441
1420	1470	1527	1523	1508	1443	1374	1329	1043	981	1147	1075	1140		1137	1057	969	1420	1149	969	1027	1037	1007	979	807	955	1016	1004	1075	995	875	436	462	493	438
1420	1471	1529	1532	1510	1445	1373	1328	1040	981	1140	1067	1134		1131	1051	962	1419	1147	969	1027	1041	1007	980	807	996	1017	1003	1079	992	876	448	464	503	439
1422	1474	1533	1537	1511	1447	1373	1328	1043	986	1142	1068	1134		1128	1048	959	1420	1153	970	1029	1045	1011	982	806	1002	1023	1008	1084	1008	877	444	473	519	441
1421	1473	1531	1536	1512	1445	1372	1326	1047	993	1145	1069	1135		1129	1049	965	1419	1158	972	1031	1049	1013	986	809	1004	1024	1008	1086	1009	878	448	477	528	444
1426	1475	1537	1539	1512	1446	1372	1328	1047	989	1144	1069	1135		1129	1049	966	1419	1155	974	1035	1049	1015	985	808	1008	1029	1008	1087	1007	877	449	475	524	445
1420	1474	1537	1543	1509	1445	1375	1330	1045	988	1147	1073	1134		1128	1048	966	1418	1153	975	1035	1046	1013	983	806	1005	1027	1005	1082	1000	875	452	458	514	439
1397	1459	1528	1535	1498	1438	1374	1330	1048	990	1157	1083	1149		1133	1053	968	1420	1157	971	1029	1037	1018	978	801	996	1017	1000	1083	992	875	458	482	518	451
1414	1470	1535	1534	1488	1428	1367	1331	1013	991	1208	1134	1200		1157	1077	991	1421	1160	977	1038	1046	1023	976	799	1017	1037	1007	1088	987	872	443	461	502	438
1408	1465	1528	1523	1482	1422	1363	1337	988	984	1249	1169	1226	1231	1183	1104	1020	1420	1153	981	1040	1060	1019	976	800	1024	1043	1012	1086	992	880	432	451	502	432
1407	1466	1529	1523	1489	1429	1366	1329	981	971	1239	1185	1238	1253	1208	1128	1031	1419	1138	977	1036	1060	1012	979	807	1019	1039	1010	1091	998	889	435	450	507	433
1405	1463	1522	1511	1488	1434	1369	1330	971	957	1258	1207	1259	1265	1221	1141	1025	1420	1121	972	1030	1054	1004	1008	829	1014	1033	1002	1077	1024	911	436	437	506	423
1404	1466	1528	1518	1484	1435	1370	1331	971	954	1262	1211	1263	1281	1228	1148	1025	1420	1118	968	1024	1053	988	1007	833	1017	1035	993	1079	1021	915	426	435	506	421
1403	1465	1524	1512	1485	1434	1370	1331	972	950	1267	1215	1267	1287	1234	1154	1027	1420	1115	966	1022	1060	998	1008	837	1015	1035	992	1070	1021	915	433	431	507	418
1399	1459	1520	1516	1489	1435	1369	1331	968	948	1267	1217	1269	1285	1237	1157	1030	1420	1112	969	1026	1062	1004	1013	836	1016	1036	996	1072	1026	915	425	439	509	422
1397	1457	1519	1515	1480	1444	1375	1336	962	946	1259	1211	1264	1274	1234	1154	1028	1424	1110	961	1017	1065	1010	1018	837	1012	1033	994	1075	1034	918	433	439	519	431
1391	1452	1515	1512	1492	1452	1383	1343	964	945	1262	1212	1265	1278	1237	1157	1029	1430	1110	959	1016	1054	1011	1026	848	1016	1036	991	1076	1042	927	429	439	517	433
1390	1453	1515	1510	1492	1453	1385	1347	966	954	1268	1210	1269	1291	1250	1170	1039	1435	1120	948	1004	1051	1004	1032	855	1007	1028	983	1063	1053	938	422	432	510	445
1388	1454	1515	1512	1493	1452	1384	1346	961	956	1271		1270	1293	1254	1174	1048	1435	1122	951	1005	1054	1002	1018	952	1012	1029	983	1065	1048	938	426	434	514	447
1391	1455	1515	1509	1490	1451	1384	1347	990	955	1272	1271	1272	1298	1254	1174	1047	1435	1121	951	1007	1047	997	1011	945	1019	1035	982	1062	1045	935	426	432	513	445
1391	1456	1516	1510	1489	1450	1383	1347	990	954	1270	1268	1270	1299	1254	1174	1047	1435	1120	952	1008	1042	994	1009	943	1017	1033	980	1061	1046	934	428	430	507	442
1386	1452	1511	1506	1488	1452	1386	1350	990	954	1270	1269	1271	1304	1254	1177	1049	1435	1120	951	1006	1044	991	1011	841	1016	1033	982	1061	1043	932	428	428	508	439
1390	1453	1514	1508	1488	1450	1383	1347	991	955	1270	1270	1271	1303	1256	1178	1050	1435	1120	953	1008	1045	992	1011	841	1018	1035	981	1062	1046	934	435	433	511	443
1393	1454	1517	1509	1494	1451	1384	1348	992	955	1271	1270	1271	1304	1259	1179	1051	1435	1120	954	1109	1047	994	1013	842	1012	1031	987	1067	1047	935	436	436	512	445
1399	1459	1520	1513	1494	1450	1386	1349	994	958	1274	1272	1275	1311	1281	1181	1053	1435	1123	962	1019	1048	998	1014	844	1015	1035	989	1070	1049	937	439	437	512	446
1399	1455	1516	1516	1496	1453	1386	1348	997	959	1258	1256	1262	1294	1266	1185	1059	1435	1127	967	1025	1052	1007	1015	843	1017	1035	998	1078	1048	936	442	441	515	450
1400	1453	1513	1515	1495	1453	1385	1349	999	963	1257	1253	1261	1292	1268	1188	1064	1435	1130	965	1024	1051	1009	1018	843	1014	1035	998	1078	1049	936	438	439	515	451
1401	1453	1515	1517	1496	1453	1385	1350	999	963	1255	1253	1260	1293	1269	1189	1065	1435	1130	965	1023	1049	1008	1019	843	1015	1035	996	1079	1047	936	437	439	512	448
1405	1456	1520	1521	1500	1456	1386	1350	999	963	1256	1254	1261	1294	1270	1190	1066	1435	1130	964	1023	1049	1007	1017	841	1018	1036	996	1079	1045	933	437	439	510	445

17.02.2001	550,3	39,83	219,16	137	4,8	832	171,49	5045	4672	1108	1091	831	886	611	147	101580	12,5	8900	47058	20,1	10,56	1454	1526	1589	1598	1575	1522	1445	1520	1561	1583	1572	1519
18.02.2001	551,7	39,73	219,19	138	4,7	832	165,97	4930	4588	1086	1071	811	866	591	143	98560	13,2	8900	48008	21,2	10,64	1461	1530	1570	1598	1575	1524	1449	1525	1568	1585	1573	1522
19.02.2001	551,6	39,45	217,63	136	4,8	832	168,16	5020	4628	1100	1085	825	880	600	138	98669	12,8	8900	48392	15,9	10,59	1455	1519	1570	1596	1572	1518	1444	1515	1571	1587	1569	1518
20.02.2001	553,3	39,08	216,20	135	4,7	829	164,34	4970	4509	1084	1069	809	864	558	125	97674	13,2	8900	44958	19,1	10,47	1460	1529	1568	1594	1568	1514	1453	1524	1567	1584	1562	1512
21.02.2001	551,1	39,52	217,81	136	4,7	847	163,47	4920	4460	1092	1077	817	871	488	115	98969	13,1	8900	44850	20,7	10,53	1458	1532	1574	1595	1561	1505	1460	1529	1571	1585	1559	1504
22.02.2001	553,7	39,59	219,20	136	4,7	833	161,88	4940	4482	1098	1083	823	873	480	125	98479	12,9	8900	44892	21,8	10,61	1465	1532	1575	1596	1568	1511	1488	1530	1570	1586	1564	1510
23.02.2001	552,7	39,36	217,57	136	4,7	819	160,78	4910	4439	1100	1080	820	870	454	115	95653	13,0	8900	45000	22,3	10,73	1473	1541	1576	1596	1569	1512	1471	1535	1571	1591	1562	1510
24.02.2001	549,3	39,25	215,58	134	4,7	807	160,34	4895	4427	1093	1073	813	863	470	115	94807	12,9	8900	44817	27,4	10,78	1478	1539	1575	1595	1568	1510	1474	1536	1572	1588	1565	1508
25.02.2001	552,0	39,91	220,28	137	4,7	795	156,70	4815	4354	1079	1059	799	849	455	111	93108	12,7	8900	44133	28,0	10,81	1480	1540	1573	1595	1567	1510	1472	1532	1567	1584	1565	1508
26.02.2001	551,3	39,49	217,70	136	4,7	813	157,92	4845	4379	1084	1064	804	854	457	115	93716	12,6	8900	44725	26,8	10,88	1470	1534	1588	1592	1561	1507	1461	1530	1567	1580	1557	1505
27.02.2001	554,3	39,61	219,58	136	4,7	800	159,67	4930	4455	1107	1087	827	875	457	103	95270	12,7	8900	45692	20,8	10,94	1475	1536	1572	1591	1556	1503	1466	1526	1567	1579	1554	1501
28.02.2001	553,3	39,63	219,30	137	4,8	805	161,91	4920	4446	1099	1081	821	868	458	120	96430	12,7	8900	45342	21,2	10,72	1481	1531	1567	1588	1552	1501	1471	1524	1568	1579	1554	1499
01.03.2001	555,2	39,77	220,79	137	4,7	824	160,51	4925	4477	1099	1089	829	874	484	100	95923	12,5	8900	45367	23,0	10,78	1480	1534	1567	1591	1554	1503	1474	1526	1563	1580	1554	1501
02.03.2001	562,5	38,85	218,51	143	4,7	814	160,98	5020	4522	1107	1097	832	882	513	90	97471	13,1	8900	48333	24,0	10,84	1476	1532	1570	1591	1561	1506	1469	1526	1566	1581	1562	1505
03.03.2001	552,0	38,13	210,48	142	4,6	815	162,37	4925	4507	1113	1103	838	888	498	75	96477	12,6	8900	48525	27,1	11,00	1484	1531	1572	1595	1560	1508	1472	1525	1568	1586	1564	1508
04.03.2001	548,2	38,15	209,12	142	4,7	817	162,43	4980	4520	1108	1086	831	881	478	75	95848	12,7	8900	48142	27,9	11,07	1482	1535	1574	1595	1568	1510	1472	1529	1568	1586	1564	1508
05.03.2001	550,2	37,73	207,58	141	4,7	819	159,68	4995	4448	1108	1086	833	883	449	75	94569	14,1	8900	45933	27,9	11,07	1482	1538	1578	1598	1568	1508	1475	1531	1571	1588	1565	1507
06.03.2001	498,0	29,47	147,06	120	4,7	807	169,63	4790	4212	1062	1052	787	837	383	91	91114	12,8	8900	43067	18,0	10,78	1485	1545	1585	1595	1559	1503	1476	1540	1579	1584	1553	1503
07.03.2001	501,8	14,93	74,91	118	4,7	818	184,91	5005	4515	1143	1142	810	920	408	96	99859	13,4	8900	46100	18,8	10,53	1458	1522	1567	1587	1551	1495	1453	1516	1559	1575	1549	1494
08.03.2001	500,5	14,97	74,93	118	4,7	822	183,89	4920	4528	1149	1149	809	921	411	88	99068	13,4	8900	46150	17,7	10,62	1459	1530	1569	1588	1537	1487	1451	1517	1561	1571	1537	1485
09.03.2001	501,3	14,82	74,29	117	4,7	828	182,07	5020	4514	1128	1126	796	906	451	109	98244	13,9	8900	45792	19,3	10,63	1463	1529	1569	1589	1536	1483	1459	1524	1563	1575	1544	1482
10.03.2001	497,7	15,30	76,13	120	4,7	820	186,66	5120	4600	1113	1113	783	893	533	165	100000	13,9	8900	46092	23,2	10,51	1461	1529	1572	1584	1543	1489	1452	1523	1564	1572	1545	1487
11.03.2001	498,5	15,00	74,36	117	4,6	819	187,49	5180	4637	1098	1098	768	878	598	197	100060	12,8	8900	46300	26,5	10,55	1460	1522	1571	1579	1541	1492	1451	1519	1564	1569	1539	1492
12.03.2001	498,5	15,04	74,98	118	4,7	810	185,29	5190	4635	1084	1084	764	874	594	215	99424	12,9	8900	47075	25,1	10,80	1456	1524	1572	1578	1536	1490	1453	1521	1562	1566	1536	1489
13.03.2001	501,6	14,93	74,90	118	4,6	817	186,01	5140	4642	1086	1086	756	866	586	262	99872	13,4	8900	46867	25,7	10,70	1461	1519	1567	1574	1535	1490	1454	1523	1556	1561	1532	1489
14.03.2001	501,6	14,93	74,90	118	4,6	828	186,55	5220	4685	1099	1099	769	879	599	240	100745	13,2	8900	47583	26,7	10,77	1461	1523	1569	1574	1533	1492	1456	1521	1558	1564	1535	1493
15.03.2001	526,8	15,06	70,32	125	4,7	822	181,13	5320	4767	1120	1120	790	900	620	217	102712	12,8	8900	48050	24,5	10,89	1466	1522	1566	1576	1537	1492	1458	1521	1558	1564	1535	1493
16.03.2001	552,2	15,08	83,28	131	4,7	818	178,21	5480	4910	1130	1130	800	910	630	308	105929	13,2	8900	49908	27,2	10,74	1452	1514	1560	1578	1540	1499	1453	1523	1553	1563	1537	1498
17.03.2001	551,8	15,91	87,73	130	4,6	825	177,84	5495	4922	1115	1115	785	895	639	375	105534	13,0	8900	49350	27,0	10,66	1457	1519	1580	1578	1544	1506	1449	1517	1551	1563	1543	1504
18.03.2001	550,0	19,03	104,64	124	4,6	818	176,04	5425	4860	1094	1094	764	874	664	372	104217	12,8	8900	48675	28,7	10,85	1445	1506	1557	1575	1540	1503	1444	1510	1546	1557	1537	1503
19.03.2001	556,9	19,72	109,84	122	4,7	820	173,65	5450	4880	1087	1087	757	867	687	385	104112	12,7	8900	48758	30,2	10,68	1452	1512	1559	1576	1542	1507	1453	1512	1552	1555	1535	1505
20.03.2001	551,7	19,91	109,83	122	4,6	813	173,37	5370	4807	1079	1079	749	859	689	350	102955	12,6	8900	48350	27,5	10,71	1447	1513	1580	1576	1539	1504	1448	1510	1550	1554	1535	1502
21.03.2001	551,3	20,08	110,70	123	4,6	825	174,19	5365	4805	1078	1078	748	858	688	357	103367	13,0	8900	48258	27,7	10,64	1453	1518	1580	1576	1544	1506	1451	1517	1544	1554	1535	1504
22.03.2001	551,8	20,08	110,82	123	4,6	826	172,99	5380	4800	1076	1076	746	856	686	358	102752	12,5	8900	48492	31,5	10,78	1453	1513	1563	1575	1544	1508	1448	1511	1543	1552	1538	1506
23.03.2001	551,2	20,08	110,68	122	4,7	824	175,01	5395	4853	1084	1084	754	861	691	345	103947	12,6	8900	49125	22,5	10,78	1454	1515	1564	1575	1540	1505	1450	1513	1545	1555	1534	1503
24.03.2001	554,2	19,98	110,73	123	4,7	824	175,01	5395	4853	1084	1084	754	864	694	375	104406	12,8	8900	49242	29,2	10,75	1447	1512	1559	1575	1541	1508	1444	1512	1543	1554	1536	1505
25.03.2001	531,1	19,18	106,29	118	4,6	817	166,89	5430	4875	1089	1089	759	869	689	372	99556	13,0	8900	49517	32,3	11,34	1449	1512	1559	1575	1540	1508	1449	1511	1544	1554	1531	1506
26.03.2001	550,5	20,11	110,73	123	4,8	816	174,69	5450	4867	1090	1090	760	870	700	357	103512	12,7	8900	49600	33,3	10,93	1449	1514	1561	1575	1541	1507	1447	1513	1546	1557	1537	1504
27.03.2001	567,2	19,99	113,39	126	4,7	820	170,87	5660	4873	1103	1103	773	863	688	325	104320	12,8	8900	50017	26,6	10												

F72 F73 F74 F75 F76 F77 F78 F79 F80 F81										F82	F83	F84	F85	F86	F87	F88	F89	F90	F91	F92	F93	F94	F95	F96	F97	F98	F99	F100	F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108	F109	
561	428	511	432	505	475	516	411	53	64	47	63	26	-19	489	461	0,36	1,12	119	0,16		4	2	2					1		8,00	59,8	3	1					
562	397	512	431	502	473	539	409	49	60	43	59	23	-22	489	460	0,38	1,21	118	0,20		1	2	1					4	1	8,00	81,1	6	4					
568	428	511	429	500	470	525	389	50	61	44	60	24	-19	487	459	0,37	1,36	120	0,21		8					1				8,00	71,3	2	4					
577	429	514	429	502	470	535	389	51	61	44	61	24	-22	485	457	0,39	1,34	120	0,27		4	3	1					2	2	6,00	15	79,8	4	1				
596	392	513	429	508	470	510	404	50	60	43	60	29	-20	483	455	0,40	1,40	119	0,35		1	7	3					2	2	5,00	38	102,6	3					
593	426	511	427	497	464	510	401	50	60	43	60	23	-20	483	454	0,39	1,41	119	0,25	1								7	1	5,00	60,5	5	1					
593	390	510	424	493	461	533	399	52	61	45	62	25	-20	481	453	0,41	1,36	118	0,29		1	7	2					5		5,00	64,4	5						
594	425	510	422	493	458	530	400	54	65	48	65	27	-26	481	454	0,40	1,30	119	0,32		3	7	1					5		3,00	51,5	2						
568	388	512	425	496	460	518	401	55	65	48	66	27	-26	481	454	0,38	1,33	118	0,33		3	7	1					3	1	3,00	52,3	1						
572	398	514	426	491	461	515	402	54	64	47	63	26	-20	483	455	0,39	1,36	117	0,41		8							3		3,00	73,7	7						
566	398	512	426	488	458	513	375	50	60	43	60	23	-23	481	453	0,37	1,20	117	0,29		1	6	1					3		3,00	59,1	5						
584	400	510	424	488	457	514	373	50	59	43	59	23	-21	482	455	0,36	1,13	119	0,34		2	6	1					2		4,00	68,2							
566	400	504	418	485	456	518	388	51	61	44	61	24	-20	481	437	0,39	1,39	118	0,38		2	6	1					1		4,00	78,9	1						
562	396	502	416	485	456	528	371	48	58	41	57	21	-20	481	451	0,40	1,38	118	0,41		2	3						1		4,00	86,3							
559	428	500	414	484	457	526	370	51	61	43	60	23	-19	480	450	0,42	1,35	117	0,30		1	10	2					3	1	4,00	52,9	2						
579	395	502	418	485	460	530	395	51	61	44	60	24	-20	481	453	0,40	1,37	119	0,28		3	6						1		4,00	59,6	9						
572	437	507	424	490	463	535	382	51	61	44	60	23	-20	482	454	0,39	1,36	120	0,29		1	9						2	2	5,00	66,7	6						
591	406	510	426	494	461	535	388	50	61	43	59	23	-20	484	457	0,37	1,41	122	0,27		3	7	1					2		5,00	71,2	3						
576	439	510	426	497	458	526	387	50	60	42	58	22	-20	484	458	0,36	1,44	123	0,31		2	7						7	1	5,00	79,2	1						
598	418	508	424	486	458	526	390	49	59	42	58	22	-24	485	458	0,38	1,36	123	0,32		2	6	2					4	1	6,00	84,2	4						
577	441	510	423	497	458	527	377	50	61	43	59	23	-21	484	458	0,40	1,32	123	0,33		1	8	1					3	1	6,00	79,7	4						
573	414	508	419	497	459	541	388	49	60	42	58	21	-21	485	457	0,41	1,32	123	0,33		1	7								6,00	91,3	6						
573	398	505	418	497	462	522	386	48	60	43	58	22	-21	485	459	0,39	1,37	123	0,28		1	7							1		6,00	87,1	7					
576	401	503	417	496	460	534	388	49	61	43	59	23	-21	486	460	0,38	1,32	124	0,39	1	2	4						3		6,00	166,9	6						
575	398	505	420	497	461	537	386	49	61	43	59	23	-21	487	461	0,39	1,12	124	0,27		3	3	1							4,00	50,2	10						
571	389	509	425	499	458	537	386	48	59	42	58	21	-21	487	460	0,40	1,24	0,26			3	1						2		4,00	47,8	8						
600	393	515	429	499	456	537	394	50	62	44	61	24	-20	485	459	0,45	1,24	0,26			6	2								4,00	55,4	4						
568	426	509	419	493	457	546	390	52	64	46	63	26	-19	481	456	0,41	1,23	0,31			123	0,26						1		4,00	53,8	12						
595	388	526	418	492	453	551	392	55	67	49	66	28	-19	479	455	0,35	1,23	0,28			123	0,26						2		4,00	52,4	7						
574	390	530	417	494	453	554	393	55	67	49	66	28	-34	481	456	0,33	1,22	0,29			122	0,29						1		4,00	52,4	7						
573	394	530	420	490	449	525	388	52	64	46	63	25	-19	480	455	0,36	1,22	0,28			123	0,28						1		4,00	35	52,4	4					
570	393	528	418	486	444	521	387	51	62	44	61	24	-25	479	453	0,38	1,21	0,23			121	0,23						1		3,00	26	52,7	6					
591	430	524	417	482	441	533	384	51	62	43	61	23	-22	477	451	0,38	1,20	0,34			120	0,34						1		3,00	49,4	7						
568	429	522	417	482	440	532	382	48	59	41	57	20	-33	477	451	0,40	1,19	0,37			119	0,37						1		3,00	70	56,3	3					
588	395	517	416	479	438	541	378	46	58	40	56	20	-20	475	448	0,42	1,19	0,35			111	0,35						2		5,50	31,5	11						
551	386	504	395	466	418	520	371	49	60	43	59	22	-19	462	434	0,39	1,11				111							2		5,50		5						
585	416	502	393	469	417	502	375	53	64	46	63	26	-24	464	436	0,39	1,11				111									5,50								
585	418	504	396	473	423	517	378	50	60	44	60	24	-23	468	440	0,40	1,14				114									4,00								
623	392	512	403	481	432	511	384	51	61	45	61	25	-23	471	445	0,42	1,16				116							1		4,00								
602	395	515	407	485	439	527	372	52	63	46	63	26	-25	475	449	0,40	1,16	0,53			116	0,53						1		4,00								
605	398	516	408	487	445	515	388	53	64	47	64	27	-21	476	451	0,35	1,16	0,43			116	0,43						1		3,20	80,6	8						
631	393	514	407	487	449	515	387	51	61	44	60	24	-18	475	448	0,34	1,13	0,56			113	0,56						2		3,20	39	115,7	8					
600	391	509	405	483	445	513	382	50	60	43	59	23	-19	473	446	0,39	1,13	0,48			113	0,48						2	7	3,20	47	91,4	5					
633	393	511	411	484	449	526	382	50	60	43	59	23	-18	475	447	0,40	1,13	0,62			113	0,62						4	11	3,20	20	149,4	5					
607	397	512	413	487	446	517	367	50	60	44	60	23	-19	477	450	0,37	1,14	1,25			114	1,25						1	19	3,20	65	311,5	2					
603	428	515	415	494	445	506	368	50	61	44	59	24	-18	479	451	0,40	1,14	1,12			114	1,12						1	19	4,00	109	218,0	1					
607	394	515	413	496	444	511	382	49	60	43	58	23	-21	479	451	0,43	1,13	0,70			113	0,70						1	13	4,00	30	122,5	4					

17/12/2017

Ek7 Cam Ergitme Fırınının Boyutları



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 07.09.1966

Doğum yeri İstanbul

Lise 1980-1983 İstanbul Fenerbahçe Lisesi

Lisans 1986-1990 İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1991-1995 Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İngilizce Endüstri Mühendisliği Programı

Doktora 1995-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı Kurumlar

1993 Yetsan A.Ş

1994-1995 Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ar. Gör.

1995-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Bölümü Araştırma Görevlisi