

29193

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CAM ERGİTME VE TAVLAMA FIRINLARININ
TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE TERMİK HESAPLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi Atilla ŞENTÜRK

İSTANBUL 1993

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İçindekiler

I. Cam Nedir

I.1. Camın Tanımı ve Genel Özellikleri.....	1.
I.2. Camın Tarihçesi.....	2.
I.3. Camı Oluşturan Ana ve Hammaddeler.....	3.
3.a. Ana Maddeler.....	3.
3.a.1. Cam Haline Gelebilen Maddeler.....	4.
3.a.2. Eriticiler.....	4.
3.a.3. Stabilizatörler.....	4.
3.a.4. Yardımcı Bileşenler.....	4-5.
3.b. Hammaddeler.....	5-7.
Cam Üretimi.....	7-8.
Üretim Yöntemleri.....	9.
I.1. Eritme.....	9-13.
I.2. Camın Şekillendirme Yöntemleri.....	14-21.
I.3. Tavlama.....	21.
I.4. Bitirme İşlemleri.....	22.
I.5. Özel Camların Üretimi.....	22-26.
I.6. Camın Renklendirilmesi.....	26-27.
I.7. Cam Türleri.....	27-30.
I.8. Camın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	30-32.
II. Cam Ergitme Fırınları.	
II.1. Fırında Gelişen Olaylar.....	33-35.
II.2. Afinasyon.....	35-38.
II.3. Yanma.....	38-44.
II.4. Elektrikli Fırınlar.....	45-48.
II.5. Fırında Isı Transferi.....	48-56.
II.6. Normal Fırınlarda Isı Transferi.....	56-60.
II.7. Tank Bloklarının Soğutulması.....	60-62.
II.8. Fırın Otomatik Kontrolü.....	62-66.
II.9. Potalı Fırınlar.....	66-71.
II.10. Atık Isının Geri Kazanılması.....	71-79.
III. Termik Hesaplara Giriş.	
III.1. Duvar Kayıpları.	
1.1. 1. Bölgedeki Duvar Kayıpları.....	82-84.
1.2. 2. Bölgedeki Duvar Kayıpları.....	84-86.
1.3. 3. Bölgedeki Duvar Kayıpları.....	86-88.

1.4. 4.Bölgedeki Duvar Kayıpları.....	88-90.
1.5. 5.Bölgedeki Duvar Kayıpları.....	90-92.
1.6. Ön Duvardan Kaybolan Isı.....	92-93.
1.7. Malzeme Girişinden Kaybolan Isı.....	93.
1.8. Malzeme Çıkışından Kaybolan Isı.....	93-94.
III.2.Bantın Dışarı Taşıdığı Isı.....	94-95.
III.3.Şişelerin Tavlama Isısı.....	95.
III.4.Toplam Isı Miktarı.....	95.
III.5.Yanma Havası ve Dumangazı Miktarları.....	95-96.
III.6.Ekonomik İzole Kalınlığının Bulunması.....	96.
III.7.Tavlama Fırınında Soğutma Eğrisinin çıkartılması.....	97-106.
III.8.Tavlama Fırınında Isı Transfer Miktarlarının tesbit edilmesi.....	106-108.
III.9.Bölgelerde Gerekli Yakıt Miktarlarının Hesabı.....	109-112.

Kullanılan Sembollerin Listesi.

Q = Isı Akımı.

m = Kütle.

v = Hız.

U = Gaz hızı.

α = Konveksiyon ısı transfer katsayısı.

k = Kondüksiyon ısı transfer katsayısı.

C_p =Spesifik ısı.

h = Entalpi.

E = Enerji akımı.

ν = Kinematik viskozite.

μ = Dinamik viskozite.

T = Sıcaklık (K).

t = Sıcaklık (C).

Gr =Grashof sayısı.(Boyutsuz).

Pr =Prandtl sayısı.(Boyutsuz).

Re =Reynolds sayısı.(Boyutsuz).

Nu =Nusselt sayısı.(Boyutsuz).

L = Boyut, mesafe.

Özet

Günümüzde çevre kirliliğinin artması, cam malzemelerin kullanım alanını genişletmiştir. Petrolden elde edilen plastik maddelerin doğaya verdiği zararlar bilinmektedir. Bu yüzden insan yaşantısında cam ve cam malzemelerin kullanımını daha önemli yer tutmaktadır.

Bu durumda cam endüstrisi, daha parlak bir gelecek için yeni teknolojilere açık bir endüstri dalı olmaktadır. Bu sebeple, bu araştırmada cam endüstrisi ve bu endüstri dalının bazı aşamaları üzerinde çalışılmıştır.

Bu araştırmada, cam üretiminin temel aşaması olan cam ergitme ve tavlama fırınları incelenmiştir. Bu fırınlar hakkında belirli bir seviyede bilgi verilmiştir. Tavlama fırınlarından olan ısı kaybı hesaplanmıştır. Bu hesaptan sonra, tavlama fırını ısıtma ve soğutma diagramları hazırlanmıştır. Bu diagram üzerinde cam sıcaklıkları ve bu camı ısıtmak için fırına verilen gazın sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bu sıcaklıkları sağlamak için, fırına verilmesi gereken yakıt miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu yakıt ve atık gaz miktarı fırın üzerinde şematik bir sistem olarak gösterilmiştir.

Atık ısının yeniden kazanılması sistemleri araştırılmıştır. Böylece enerji tasarrufu sistemleri daha detaylı bir bilgi halinde verilmiştir.

Böylece gelecekte önemli bir yeri olan bu endüstri dalı hakkında yeni bir bilgi kaynağı hazırlanmıştır.

Summary

Nowadays, increasing of the pollution of environment, has made larger the using area of the glass materials. The damages on the nature, which were given by the plastic materials that made of petroleum is known very well. So, area of glass material using is becoming very important at the human life.

In that case, glass industry is becoming an open industry branch to new technologies for a brilliant future life. Therefore, in this investigation, glass industry and some stages of this industry branch was searched.

In this investigation, annealing furnaces and melting furnaces which are the basic stage of the glass producing was researched. Some knowledge on a certain level was given about these furnaces. Heat losses that from annealing furnaces was calculated. After that calculation, heating and cooling diagrams of the annealing furnaces was prepared. Glass temperatures and gas temperatures that given into the furnace to heat glass in it, was given on that diagram. The required fuel quantity to supply these temperatures was calculated. This calculated fuel and waste gas quantities were shown on the furnace as a diagramatic system.

Waste heat recovery systems were researched. So, energy saving systems were given as a more detailed knowledge.

Thus, a new knowledge source was prepared on this industry branch that has an important place in the future life.

GİRİŞ.

I. CAM NEDİR:

I.1. Camın tanımı ve Genel Özellikleri

Cam için çeşitli tanımlar yapılmış olup, günümüzde de bu konuda kesin bir tanım ve adlandırma yapılamamaktadır. Ancak, camın çeşitli özelliklerine göre çeşitli tanımlar mevcuttur.

Cam, fiziksel bakımdan bir katı olup, belirli bir erime noktası olmayan, aşırı soğutulmuş bir sıvı durumundadır. Ayrıca kristallenmesine engel olacak kadar yüksek bir viskoziteye (ki bu değer 10^{13} poise 'den daha büyüktür.) sahiptir. Kimyasal bakımdan ise kumun, alkali ve toprak alkali bileşiklerinin ve diğer cam yapıcı maddelerinin bozundurulmaları ve eritilmeleri ile oluşan uçucu olmayan anorganik oksitlerin oluşturduğu, genellikle alkali ve toprak alkali silikatlardan ibaret kompleks bir üründür. Cam, tamamen camlaşmış saydam bir ürün olabildiği gibi, birçok hallerde az bir miktarda camlaşmayan maddenin, çok miktarda camlaşmış ürün ile olan süspansiyonu halinde de olabilmektedir.

Bu konuda başka bir tanımda, yukarıdakine benzer tarzda olup, sabit bir erime noktası olmayan amorf bünyeli bir silikat bileşimi olarak verilmektedir. Ana maddelerin ısıtılarak eritilmesi, biçimlendirilmesi ve biçimlendirilen hamurun kristalleşmeksizin soğuması sırasında cam elde edilmektedir. Erime derecesi, bileşime giren maddelere ve bileşime göre değiştiğinden, camın belirli bir erime sıcaklık derecesi yoktur.

Genelde cam, malzemeciler tarafından aşırı soğutulmuş bir sıvıya benzetilmektedir. Gerçekten de cam ısıtılmaya başlandıktan sonra, sıcaklığa paralel olarak önce yumuşar ve daha sonra akıcı hale gelir. Bu hali ile bir sıvı görünümü arzeder.

Cam, gevrek bir maddedir ve gerilme direncine oranla, çok daha fazla saydamlık gösterir. Çoğunlukla, yüzey sıkış-

ması sağlamak üzere, sağlamlaştırma teknikleri, daha sağlam yapıdaki yeni bir cam tipi geliştirmektedir. Yaklaşık 800 değişik cam bileşimi mevcut olup, bunlardan bir kısmı sadece bir özelliği esas alırken, diğer bir kısmı ise özellikler arasında denge kurmaya önem vermiştir.

Günümüzde çok değişik gereksinmelerin karşılanmasında cam malzemelerin kullanım alanı geniştir.

Cam malzemeler yapılarda ışık geçirme, ses yalıtımı, iç ve dış duvar kaplamaları, ısı izolasyonu gibi bazı amaçlarla kullanılmaktadır.

I.2. Camın Tarihçesi

Camın ilk kez M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya ve Mısır'da üretildiği bilinmektedir. İlk camı üretenler arasında Fenikeliler de yer almaktadır. Bazı kaynaklara göre M.Ö. 4000'li yıllarda cam bilinmekteydi. Bu günkü anlamda yapılarda cam kullanımı çok eski olmayıp, kökeni Romalılara dayanmaktadır.

Yeterince büyüklükte cam levha yapımı 11. yüzyılda şişirilmiş silindir yöntemi ile 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 olmuyordu. 16. yüzyılda, "plateau" yöntemi denilen yeni bir yöntem denendi ise de, elde edilen camın kenarları ince, ortası kalın olduğu için kısa süre sonra terk edildi. Ancak, bu yöntemde daha pürüzsüz yüzeyli cam elde ediliyordu.

Silindir yöntemi daha da geliştirilerek, 19. yüzyılda ABD'de endüstriyel olarak uygulandı. Bu yöntemde, cam eriyiğinden düşey olarak emilen cam içine hava üflenerek, 75-80 cm. çapında, 10-12 m. yüksekliğinde silindir elde edilerek, cam levha yapılıyordu. Bu yöntem, makina başına 1000 m²/gün cam üretebiliyordu. Sonraları bulunan modern üretim yöntemleri ile bu yöntem terk edilmiştir.

Camcılık, ABD'nde 1608 yılında Jamestown, ve 1639 سالهام'de başlamıştır. Bu tarihten 300 yıl sonrasına kadar

proses, hemen hemen tamamen el işi olarak yapılmıştır. Kimyasal bakımdan bu süre içinde en önemli gelişme, cam harmanını oluşturan maddelerin saflaştırılması ve yakıt ekonomisinin arttırılması ile sınırlı kalmıştır.

Sürekli bir şekilde levha halinde cam üretimi için, Fourcault prosesi, 1914 yılında Belçika'da geliştirilmiştir. Bunu izleyen 50 yıl, mühendis ve bilim adamları levha camın optik bozukluklarını gidermeyi, buzlu ve parlatılmış cam levhaların, üretim giderlerini azaltmayı amaçlayan çalışmalar yapmışlardır. Bütün bu çalışmalar, düz cam üretim teknolojisine büyük katkıda bulunmuştur. 1902 ve 1905'lerden sonra, İngiltere'de ABD patentiyle yüzercam üretilmiş olup, günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konuda, şişe, elektrik ampulü vs. üretimini hızlandırmak için otomatik makinalar bulunmuştur. Sonuç olarak, teknoloji, günümüzde ileri bir endüstri dalı olmuştur.

Ülkemizde cam üretimi Selçuklular döneminde başlamış, Osmanlılar döneminde büyük gelişme göstermiştir. 19. yüzyılda Bekoz'daki kristal cam fabrikasının ürünleri büyük beğeni kazanmıştır. Cumhuriyet döneminde, 1937 yılında, ilk olarak Paşabahçe'de Türkiye Şişe ve Cam Fabrikası açılmış, bunu 1964 yılında Çayırova'da üretime başlayan pencere camı fabrikası izlemiştir. Daha sonraki yıllarda ise, aynı kuruluşun, değişik alanlardaki çalışmaları başlamıştır. Son olarak, 1983-1984 yılında açılan ve float cam üreten Trakya Cam Fabrikası ile bu zincir tamamlanmıştır.

1.3. Camı Oluşturan Ana Maddeler ve Hammaddeler

a) Ana Maddeler :

Camı oluşturan ana maddelerden söz edildiğinde, adi camın bileşimine giren üç grup madde akla gelir. Bunlar, cam haline gelebilen oksitler, eriticiler ve stabilizatörler denilen maddelerdir. Adi camın bileşimine giren bu maddeler, bir başka şekilde kuw-soda-kireç üçlüsü olarak da ifade edilebilir. Adi camın bileşimine giren maddelerin

dışında, cama önemli özellikler kazandıran ve üretimde bazı yararlar sağlayan yardımcı (ikincil) bileşenler de bir grup olarak ele alınabilir.

3.a.1. Cam Haline Gelebilen Maddeler

Camlaşma özelliği olan bu ana maddeler, genelde ağ oluşturan bazı oksitlerdir. Doğal cam niteliğindeki kuvars kumu, ağ oluşturan oksitlerin başında gelir. Bu oksitlerin içinde en önemlileri SiO_2 , B_2O_3 , ve P_2O_5 'dir.

3.a.2. Eriticiler

Ağ oluşturan ve cam haline gelebilen oksitlerin erimelerini kolaylaştırmak için camın bileşimine katılan maddelere eriticiler denir. Bu maddeler, cam haline gelebilen maddelerin erime sıcaklık noktalarını düşürerek erimeyi kolaylaştırırlar. 1713°C 'de eriyen silisyumun erime noktası, bu suretle 1500°C dolayına indirilebilmektedir.

Bu tür malzemeler ağ yapısına girerek, yapıyı değiştirdiği için, bunlara modifikatör de denmektedir. Bu maddelerin en çok kullanılanları Na_2O , K_2O , ve Li_2O 'dur.

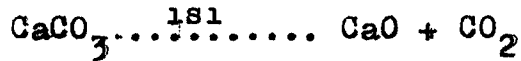
3.a.3. Stabilizatörler

Eriticiler gibi stabilizatörler de özellikle camın kimyasal dayanımı, kırma indisi, dielektrik özellikleri üzerinde etki yapan malzemelerdir. Yapısına stabilizatör ilave edilmemiş bir cam su karşısında stabil olmayıp, bu tür camlara su camı denir.

Stabilizatör olarak adlandırılan maddelerin başlıcaları CaO , BaO , PbO , MgO , ve ZnO 'dur.

CaO , kireç taşının, MgO ise dolomitin bünyeye katılması ile elde edilir. Çünkü, bu maddelerin belirli bir sıcaklık değerine kadar ısıtılması ile, içerdikleri CO_2 atılır. Geriye oksitleri kalır.

Bu reaksiyonlar, kimyasal olarak şöyle gösterilir:



3.a.4. Yardımcı (ikincil) Bileşenler

Yardımcı bileşen ya da ikincil bileşen olarak adlandı-

rılan maddeler genelde adi camın formülüne girmeyen, ancak, çoğunlukla farklı cam tiplerinde değişik yararlar sağlamak üzere kullanılan oksitlerdir. Bu bileşenler:

Arsenik	As_2O_3	: Renk verici, saflaştırıcı
Fluorin	CaF_2	: Opaklaştırıcı
Sülfat	Na_2SO_4	: Redükleyici
Fosfor	P_2O_5	: Sodyum, kalsiyum camlarını opaklaştırıcı
Kobalt	Co_2O_3	: Renk verici, renk giderici
Zirkonyum	ZrO_2	: Viskozite artırıcı

Olarak verilebilir. Bu maddelerin tamamı, kullanım amaçlarına göre hammaddeler kısmında daha geniş olarak verilmiştir.

3.b. Hammaddeler

Son 30 yıl içerisinde camda birçok yeni yapı formülasyomuna rağmen, dünyadaki camların büyük çoğunluğu (% 90'dan fazlası) 2000 yıl öncesinde olduğu gibi ve yukarıda verildiği üzere kum, soda ve kireç üçlüsünden yapılmaktadır. Ancak bu süre içinde camın bileşiminde önemli değişiklikler de yapılmıştır. Ana maddelerde ufak değişiklikler olurken, ikincil öneme haiz maddelerde büyük değişiklikler olmuştur. Camı oluşturan ana maddeler, camlaşıcılar, yani cam haline gelebilen maddeler olarak verdiğimiz kum, kireç ve susuz Na_2CO_3 (soda)'dır. Bunların dışındaki diğer hammaddeler etkileri önemli bile olsa, ikinci derecede öneme sahip maddelerdir.

Farklı tipte camlar üretmek için, çok miktarda cam kumu kullanılır. Bu kumun eritilmesi için susuz Na_2CO_3 , (% 90-98) oranında saf olmayan Na_2SO_4 ve kireç taşına ihtiyaç vardır.

Bunlara ilave olarak, önemli miktarlarda PbO , K_2CO_3 , sodyum nitrat, boraks, borik asit, As_2O_3 , feldspat ve fluoropat kullanılır. Renkli camlar için birçok metal oksit ve zirkonyum, karbonatlar ve diğer tuzlara gereksinim vardır. Bitirme işlemlerinde çeşitli abrazyifler ve florür asiti gibi maddeler kullanılır.

Cam üretiminde kullanılacak kum, hemen hemen saf kuvars şeklinde olmalıdır. Cam fabrikaları, bu amaçla genelde cam kumu yataklarının yanında kurulurlar. Camın bünyesindeki demir miktarı, ev eşyaları için % 0.045'i ve optik camlar için % 0.015'i geçmemelidir. Çünkü demir, camın rengine olumsuz yönde etki yapar.

Soda(Na_2O) : Prensip olarak yoğun sodadan (Na_2CO_3) hazırlanır. Diğer kaynaklar NaHCO_3 , Na_2SO_4 ve NaNO_3 'tür. Sodyum nitrattan demiri yükseltgeme ve erimeyi kolaylaştırmada yararlanılır.

Kireç (CaO) : Önemli kaynak CaCO_3 'tür. CaCO_3 'ün ısıtılarak bozulmasından elde edilir.

Feldspatlar ($\text{R}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) : Burada R_2O , Na_2O veya K_2O 'yu, veya bu ikisini karışım olarak içerir. Feldspatlar, alüminyum oksit kaynakları olan diğer maddelerin çoğundan çok daha üstünlüklere sahiptirler. Çünkü ucuzdurlar, saftırlar, eriyebilirler ve camı oluşturan oksitlerden meydana gelmişlerdir. Eğer maliyet ikinci planda kalıyorsa sadece Al_2O_3 kullanılır. Feldspatlar ayrıca, Na_2O , K_2O ve SiO_2 'nin bir kısmında sağlamış olurlar. Al_2O_3 içeriği erime noktasını düşürür ve camsı durumunun bozulması olayını geciktirir.

Boraks : İkinci derecede öneme sahip bir unsur olarak, hem Na_2O 'lu, hem de B_2O_3 'lü camların yapımında kullanılırlar. Pencere camında ve düz camda miktarca çok az kullanılmakla beraber, günümüzde bazı cam kap tipleri için de yaygın olarak kullanılır. Kırılma indisi yüksek boraks camlarında vardır. Bunlar, diğer camlara oranla, düşük dispersiyon değerine ve yüksek kırılma indisine sahip olup, optik camı olarak kullanılırlar. Boraks, yüksek olan eritme özelliğinin yanında, genleşme katsayısını düşürmekle kalmaz, kimyasal dayanıklılığı da arttırır. Az miktarda alkali istenen hallerde harmanlarda boraks yerine borik asit kullanılır. Bunun fiyatı ise boraksın fiyatının iki katıdır.

Sodyum Sülfat : Bir süre, miktar bakımından camın önemli az olan bir katkısı olarak kabul edilmiştir. Na_2SO_4 ve ay-

rica diğer sülfatlar, genelde bütün cam tiplerinde kullanılırlar. Na_2SO_4 'ün tank fırınlarında zorluk çıkaran ve kaymak diye bilinen cürufu giderdiği gözlenmiştir. Sülfatların sülfürlere indirgenmesinde karbon kullanılmalıdır. Habbeciklerin atılmasında ise As_2O_3 kullanılabilir. Sodyum veya potasyum nitratları demiri okside eder ve camda daha az görülmesine yol açar. Bu yüzden iyi kalitenin gerektiği durumlarda ve optikte kullanılır.

Cam kırıkları, bozuk camların, cam düzeltme işlemlerinden kalan parçaların ve atık camların kırılmasından elde edilir. Erimeyi kolaylaştırır, daha homojen bir eriyik elde edilmesine ve atık camın yeniden kullanılmasına yardımcı olur. Miktarı min. % 10 ve max. % 80 kadardır.

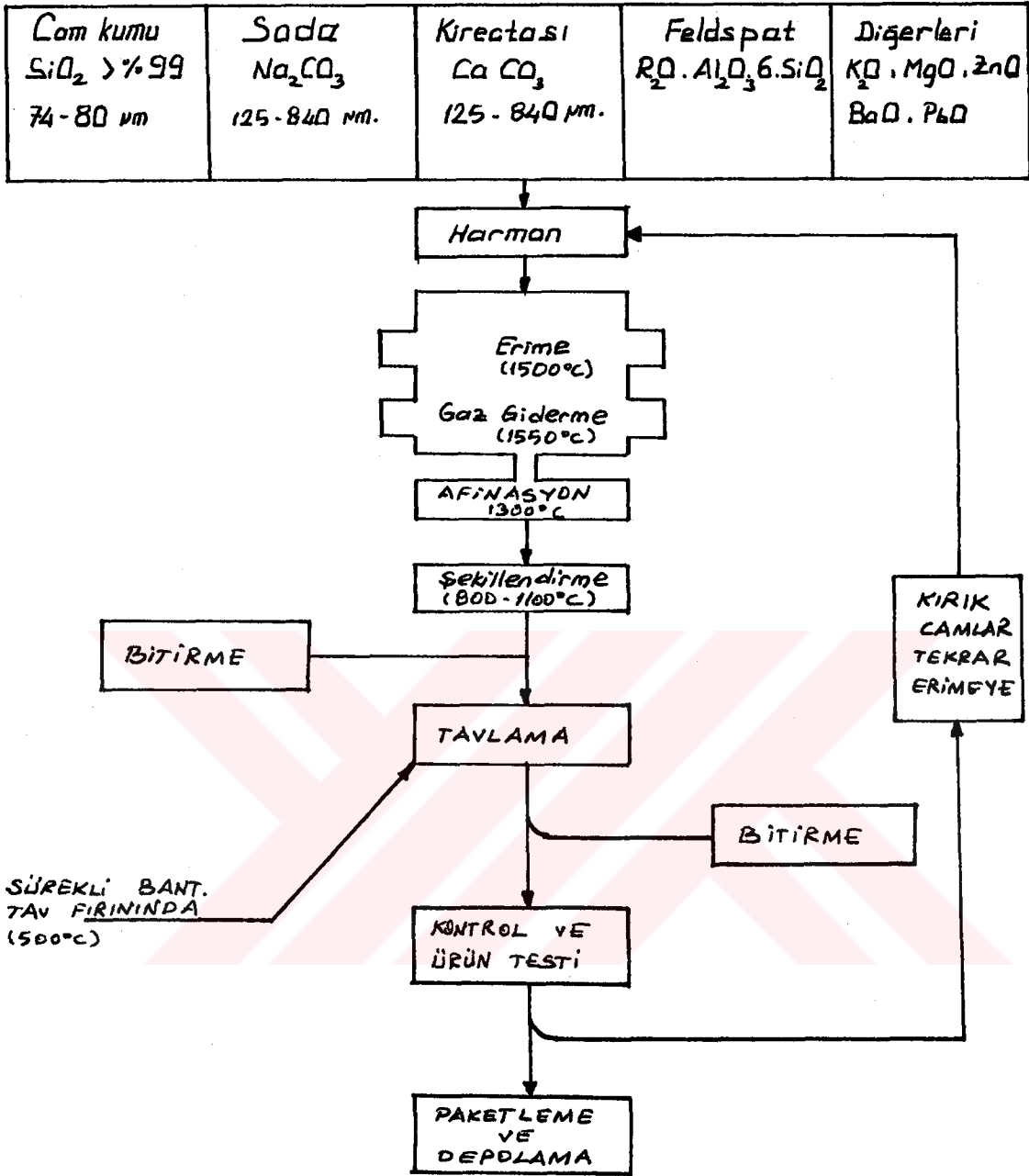
Camın Üretimi

Cam endüstrisi esas olarak, cam oluşturacak olan hammaddelerin yüksek sıcaklıkta homojen bir şekilde eritilmesine ve bu erimiş cama şekil verecek mekanik işlemlere dayanır.

Öncelikle daha önce sözü geçen hammaddeler öğütülür. Uygun oranlarda karıştırılır ve uygun fırınlarda eritilirler. Bu sırada gelişen kimyasal reaksiyonlar şunlardır:

1. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + a.\text{SiO}_2 \dots\dots\text{Na}_2\text{O}.a.\text{SiO}_2 + \text{CO}_2$
2. $\text{CaCO}_3 + b.\text{SiO}_2 \dots\dots\text{CaO}.b.\text{SiO}_2 + \text{CO}_2$
3. $\text{Na}_2\text{SO}_4 + c.\text{SiO}_2 + c \dots\dots\text{Na}_2\text{O}.c.\text{SiO}_2 + \text{SO}_2 + \text{CO}$
4. $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{C} \dots\dots\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{CO}$
5. $2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{C} \dots\dots2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{CO}_2$
6. $\text{Na}_2\text{SO}_3 + c.\text{SiO}_2 \dots\dots\text{Na}_2\text{O}.c.\text{SiO}_2 + \text{SO}_2 \dots\dots(\text{R.1})$

Burada $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ve CaO/SiO_2 molar oranlar değildir. Normal pencere camında molar oranlar yaklaşık 2 mol Na_2O 1 mol CaO ve 5 mol SiO_2 şeklindedir. Diğer camlarda bu oranlar farklılık gösterir. Cam içerisinde kimyasal bileşikler yoktur ve cam esasında amorf, çok bileşenli, katı bir karışım ve aşırı soğutulmuş bir sıvıdır. Şekil 1'de cam üretiminin akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 1. Cam üretimi akım şeması.

Sıcaklıklar, normal soda kireç camı için verilmiştir.

Yukarıda verilen şemadan ayrıca, tipik bir üretim ana basamakları şunlardır:

- 1.Hammaddelerin fabrikaya taşınması.
- 2.Bazı hammaddelerin elenerek büyüklüklerine göre ayrımı.
- 3.Hammaddelerin depolanması.
- 4.Taşıma, tartma ve hammaddelerin karıştırılması, bunların yükleme harmanı olarak cam fırınına verilmesi.
- 5.Cam oluşumu için gereken yüksek sıcaklığı sağlamak üzere, yakıtın yakılması, hammaddelerin fırında camı oluşturmak üzere reaksiyona girmesi, regenerasyon ve reküperasyon yolu ile, ısının bir kısmının geri kazanılması.
- 6.Ürün camın şekillendirilmesi.
- 7.Cam ürünlerinin tavlama.
- 8.Cam ürünlere bitirme işlemlerinin uygulanması.

Taşıma ve karıştırma işlemlerinin tamamen kapalı, otomatik sistemlerle yapılması uygundur.Böylece, hammadde veya camın işlenmesi esnasında toz yayılması olmaz.

Üretim Yöntemleri

Üretim işlemleri 4 ana gruba ayrılır.

- 1.Eritme, 2.Şekillendirme, 3.Tavlama, 4.Bitirme.

1.1.Eritme

Ana maddeler hazırlandıktan sonra, ilk evredir.Günümüzde eritme işlemi, kapasitesi max. 2 ton olan krözelerden, kapasitesi 1000 ton dolayındaki tank fırınlara kadar değişen olanaklarla yapılmaktadır.Fırınlara yapımında kullanılan ateşe dayanıklı malzemeler, silis, alümin, zirkon gibi yüksek nitelikli refrakterlerdir.

Cam yapımı için kullanılan fırın tiplerinin genel olarak iki kısma ayrılması mümkündür.Pota ve tank fırını.

Cam fabrikaları genelde ya tek tür cam, ya da değişik türlerde cam malzeme üretimi yaparlar.Tek tür cam üretimi yapan bir fabrikada ürün miktarı önemli olduğundan, kapasitesi yüksek bir fırına gerek duyulacaktır.Değişik türlerde cam üretmesi gereken bir fabrikada ise, cam türleri önemli olduğundan ve her türlü camın da bileşimi farklı

olabileceğinden, çok sayıda krözeye gerek duyulacaktır. Bu nedenle, cam fabrikalarında tank (havuz) ve potalı fırın olmak üzere iki ayrı tipte fırın kullanılmaktadır.

1.1.a. Potalı Fırınlar

Cam türlerinin fazla olduğu, ancak, cam miktarlarının az olduğu üretim süreçlerinde havuz fırın kullanılması uygun değildir. Bu nedenle ayrı ayrı cam türlerine ait ana maddelerin eritildiği ayrı ayrı fırınlara gereksinim duyar. Bu durumlarda potalı fırın adı verilen krözeler kullanılır. Potalı fırınlarda ana madde miktarı max. 2000 kg. dolayındadır. Ancak, çok sayıda fırın kullanılan bu üretim süreçlerinde her potalı fırında ayrı tip cam bulunacak şekilde çok sayıda fırın kullanılır. Bu fırınlar, dışı demir, iç kısımları ise ateş tuğlası kaplı krözelerden oluşmaktadır.

Pota fırınları kesintili yüklemeli tipte, ateşe dayanıklı fırın damına konmuş potalarda yapılabilen özel camların ufak çaptaki üretimleri veya erimiş camın yanma ürünlerinden korunması gereken durumlar için yararlı bir şekilde kullanılırlar. Potaların açık olan ve bir kapak ile kapatılmış olan iki tipi vardır. 2000 kg. max. ana madde miktarına rağmen, genelde, 60-80 cm. yükseklik ve 1 m. genişlikte olup, bu ebatlarda, 400-800 kg. erimiş cam kapasitesine sahiptirler. Potalar, bir kısım yüksek derecede ateşe dayanıklı ham kil ve bir kısım pişirilmiş kilden yapılırlar.

Pota fırınları düşük kapasiteli olup, kesintili yüklemeli olarak çalıştırılırlar. Farklı tipteki camlar, farklı potalarda aynı anda eritilebilirler.

Potalar, ateşe dayanıklı chamotte tuğlalı fırınlarda ısıtılırlar. Fırınlar, Üst fırın (eritme bölgesi) ve regeneratörlerin ızgara bölmeleri bulunan alt fırından ibaretler. Potalar, üst fırın döşemesi üzerinde yan duvarlar yakınında bulunurlar. Bu tip fırınlarda Siemens regeneratif yakma işlemleri uygulanır.

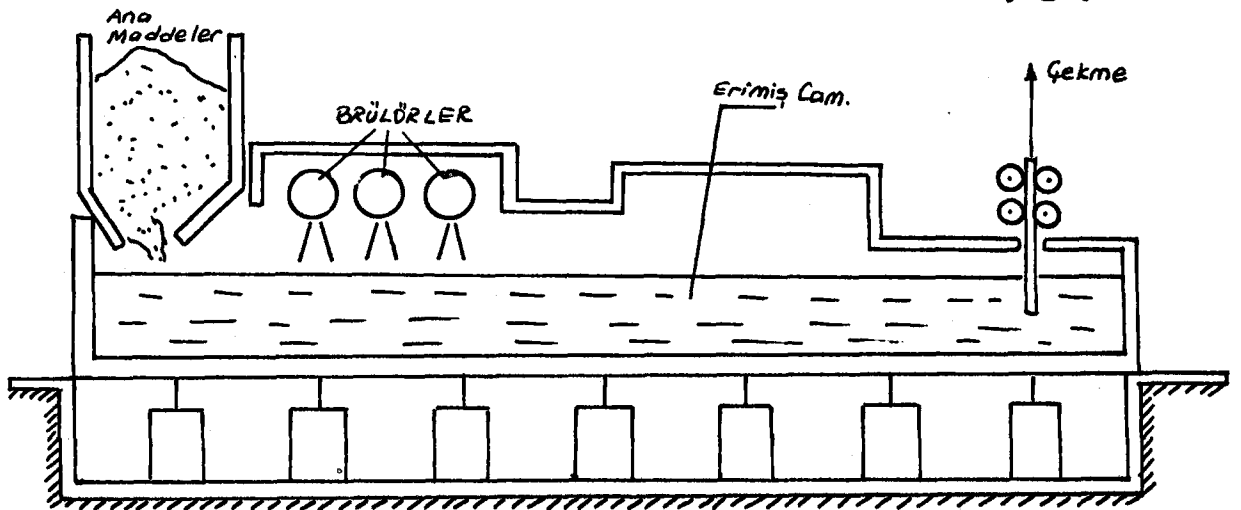
Bu fırınlara ileride daha geniş yer verilecektir.

1.1.b. Havuz Fırın (Tank Fırınları)

Çok miktarlarda cam üretilmesi gereken üretim süreçlerinde tank fırını adı verilen bir fırın kullanılır. Biçimi yönünden adeta bir yüzme havuzuna benzediği için havuz fırın da denilen bu fırında yaklaşık 800-1000 ton dolayında erimiş cam bulunur. (Çayırova cam fabrikasında ki tank fırınının boyutları: boy 28m, en 7.2m, yükseklik 1.5m'dir). Camı oluşturacak ana malzeme özel bir itici mekanizma ile havuz fırının ağız kısmından içeri itilir.

Tank fırını, boyutlarına bağlı olarak değişen 800-1000 ton dolayındaki erimiş camın yapacağı mekanik ve ısı etkilere göre tasarlanmış ve uygulanmış olmalıdır. Fırının tabanı, duvarları ve üstü evvelce bahsettiğimiz nitelikteki ateş tuğlalarından oluşturulur. Tank fırınına bir tarafından ana maddeler verilirken, diğer tarafından nispeten soğutulmuş cam, üretim için alınmaktadır. Camı oluşturan ana maddelerin sıcaklığı adi cam için 1500 C dolayında iken, bu sıcaklık silis camlarında ve potalı fırınlarda 1700 C'nin üzerine çıkar. Tank fırınında eritilen cam, brülörlerin bulunduğu bölgeyi geçtikten sonra, 1100 C sıcaklığa kadar soğutulmuş ve biçimlendirmeye uygun hale getirilmiş olur.

Şekil 2'de bir tank fırınının basit kesiti verilmiştir.



Şekil 2. Basit bir tank fırınının kesiti.

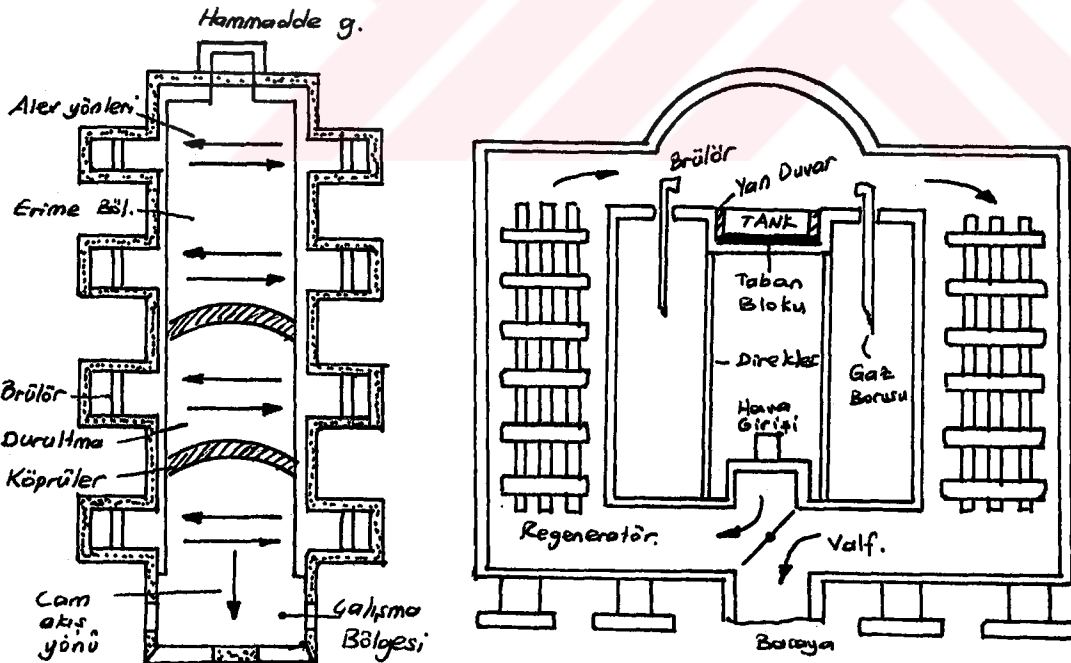
Devamlı olarak çalışan tank fırınlarında cam harmanı, üst kısımdan geçirilen alevler vasıtasıyla eritilir. Bu tip fırınlarda tanklar, kalın chamotte tuğlalardan yapılırlar. Karışım fırınının bir ucundan devamlı olarak yüklenir. Eriyen ve erimiş cam, arıtma bölümüne akar. Burada, yüksek sıcaklık nedeniyle yüksek derecede akışkan hale gelir. Cam sonra çalışma bölgesine geçer ve burada prosesleme için gereken sıcaklığa kadar soğur. Bu tank fırınlarının bazılarında boyutlar, 38 x 9x 1.5 m. olup kapasiteleri 1500 ton erimiş camdır, ve üretim sürekli'dir.

Isıtma, çoğunlukla, reküperatif ve regeneratif sistemler ile ateşleme vasıtasıyla yapılır. Yakıt, generatör gazı veya kok fırını gazı, ABD'nde ise doğal gaz veya petroldür. Ufak tank tipi fırınlara günlük tanklar adı verilir. Bunlar, 1-10 ton erimiş cam alarak, günlük gereksinimi karşılarlar. Gaz ve elektrikle elektro-termik olarak ısıtılırlar. Elektriksel ısıtma, hidroelektrik güç santrallı ülkelerde, çoğunlukla, indirect direnç ısıtması veya direkt rezistans ısıtması vasıtasıyla yapılır. İkinci tipte, erimiş karışım bir direnç vazifesi görür. Buradaki sarfiyat, yaklaşık 1-2 kw/kg.cam'dır. Isı gereksinimi camın her kg.'ı için 2000-3000 kcal civarındadır. Bu tip fırınlarda, potalı fırınlarda olduğu gibi, duvarlar sıcak camın etkisi altında zamanla aşınır. Camın kalitesi ve tankın ömrü, yapı bloklarının kalitesine bağlıdır. Bu yüzden, cam fırını refraktörlerine büyük önem verilir.

Cam fırınlarının daha önceki tipleri regeneratif fırınlar olup, iki dizi göz göz bölmeli oda ile, çift devreli olarak çalışırlar. Alev gazları, erimiş cam içeren fırında, bir uçtan diğer uca geçerek, ısılarını fırına verirler ve şekil 3'te verilen, açık bulunan kafes tuğla örgüsüne verilirler. Burada gazların duyulur ısısının büyük bir kısmı alınır. Kafes tuğla örgülü kamara girişinde sıcaklık 1540 C ve çıkışında 650 C'dir. Aynı anda hava, önceden ısıtılmış olan regeneratif kamaradan geçirilerek, ön ısıtmaya sokulur ve yakılacak gaz yakıt ile karıştırılır. Meydana gelen alev sıcaklığı, ön ısıtmaya sokulmamış

hava ile yapılan oranla, çok daha yüksektir. 20-30 dakikalık periyodik aralıklarla, hava yakıt karışımı yön değiştirir, önceden ısıtılmış kafes tuğla örgülü kamaralardan geçirilerek önce ısıtılır ve yanıktan sonra ise, karşı yöndeki aynı tip kamarayı ısıtmak için, soğur. Bu regeneratif prensip yardımı ile, büyük miktarlarda ısı kazanılır ve daha yüksek sıcaklıklara erişilir.

Üretime başlayan bir fırının sıcaklığı, fırın yapımında kullanılan refrakterlerin cinsine bağlı olarak, hergün belirli bir miktar arttırılır. Regeneratif fırın bir kere ısıtıldıktan sonra, çalışma süresince en az 1200 C'de tutulmalıdır. Isının büyük bir kısmı, ısıma yolu ile kaybolur ve cam eritmede çok ufak bir kısmı kullanılmış olur. Fırın duvarlarının, ısıma yoluyla bir miktar soğumasına izin vermemesi halinde, sıcaklığı çok yükselir ve erimiş olan cam, bu duvarları hızlı bir şekilde aşındırır veya çözer. Erimiş camın bu etkisinin azaltılması için, fırın duvarları içerisine, su soğutmalı borular yerleştirilir. Şekil 3'te Çapraz yakımlı bir tank fırını verilmiştir.



Şekil 3. Çapraz Yakımlı Tank Fırını.....(R.2)

I.2. Camın Şekillendirilmesi

Ana maddelerin hazırlanması ve eritme evrelerinden sonra sıra dinlendirilmiş cam hamurunun biçimlendirilmesine gelir. Ancak, adi cam ile yapılacak ürünlerin biçimlendirilebilmeleri için, sıcaklığın erime sıcaklığının altına düşürülmesi (yaklaşık 1100 C) gerekir. Camın bu sıcaklıkta sahip olduğu viskozite, çalışma sıcaklığı olarak adlandırılan bir değerdedir. Bu viskozite, kabaca bal kıvamına benzetilmektedir.

Cam malzeme birçok yöntemle şekillendirilebilmektedir. Her cam malzeme, kendi yapısına uygun bir şekillendirme yöntemine tabidir. Ancak, bazı şekillendirme yöntemleri birçok cam malzeme için kullanılabilmektedir. Presleme yöntemi gibi...

Camın şekillendirilmesi, makina veya el kalıplaması ile olur. Makina ile şekillendirilmede, cam eşya cam makinası ile birkaç saniyede yapılır. Oldukça az olan bu süre içinde cam, viskoz bir sıvıdan katı ve saydam bir şekle dönüşür. Bu nedenle ısı transferi, metallerin kararlılığı, yatak açıklığı gibi tasarım problemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Böyle bir makinanın geliştirilmesi, cam mühendislerinin en önemli sorumludur. Aşağıda belirli şekillendirme yöntemlerinden bazıları verilmiştir.

I.2.1. Üfleme (Şişirme) Yöntemi

Bu yöntem, şekillendirme yöntemleri içinde en eski olanlarından birisidir. Bu yöntemde bir demir boruyla cam fırınından alınan cam hamuruna borunun diğer ucundan üfleme suretiyle biçim verilir. Bu işlem, cam hamurun iki parçalı bir kalıp içine üflenmesi suretiyle yapılabileceği gibi, kalıp kullanmadan demir borunun ucundaki cam hamurunun zaman zaman döndürülmesi suretiyle de yapılabilir. elde edilecek üründü cam kalınlığı ve ebat, işlemi gerçekleştiren elemanların becerilerine bağlıdır. Çalışma sırasında, cam hamurun üflenip şişirilemeyecek derecede soğuyarak viskozitesinin artması halinde, cam, tavlama fırınına sokularak yeniden ısıtılır ve biçimlendirmeye uygun viskoziteye getirilir. Böylece biçimlendirme işlemine devam

edilir. Bu yöntem ile şişe, damacana vs.. yapılabilir. Fabrikasyon üretimde üfleme işi iki ya da üç parçalı kalıp içine makinalar yardımıyla yapılır.

I.2.2. Dökme-Silindirlene Yöntemi (Emprime Yöntemi)

Bu yöntem, cam hamurunun düzlem bir masaya dökülmesi ve daha sonra bu cam hamurunun üzerinden bir silindir geçirilerek levha haline getirilmesi ile uygulanır. Camın kalınlığını masanın iki kenarına yerleştirilen ve üzerinde cam hamurunu yayan silindirin yuvarlandığı iki metal çıta belirler. Bu yöntem ile üretilen camların bir yüzü düz, diğer yüzü desenlidir. Bazı hallerde camın iki yüzü de desenli olabilir. Desenler, döküm masası üzerinde yuvarlanan silindirin üzerinde girinti, çıkıntı şeklinde olurlar. Silindirin yuvarlanması ile bu desenler cama geçer. Bu şekilde elde edilen desenler çok çeşitli olmakla birlikte hepsi bir anlamda baskı yolu ile sağlandığından bu camlara emprime camlar denir.

Camın desenini değiştirmek gerektiğinde camı masanın üstüne yayan silindirin değiştirilmesi yeterlidir.

Emprime cam biçimlendirildikten sonra soğutma tüneline 60-70 C'ye kadar soğutulurken kenar kesme işlemleri yapılır ve standart boyutlara getirilir. Bu camlar yaygın bir ışık etkisi sağlamak üzere ilkin katedrallerdeki vitraylarda kullanıldığından bunlara katedral cam da denir.

I.2.3. Çekme Yöntemi

Günümüzde kullanılan ve doğrudan doğruya düz levha cam elde etmeye yönelik çekme yöntemlerinin esası, erimiş cam hamuru üzerine yatay durumda bir lama demiri atmak ve demir lamaya aderans ile yapışan cam hamurunu kohezyon kuvvetine bağlı olarak bir perde gibi yukarı çekmeye dayanır. Camın sahip olduğu kohezyon sayesinde 1.50 m. genişlikte ve max. 7mm. kalınlıkta cam levha bu şekilde çekilebilir. Daha kalın cam üretimi bu yöntemle gerçekleştirilemez.

Çekme yöntemi ile cam levha üretimi ortaya çıkış sırasına göre Fourcault, Libbey-Owens (Colburn), Pittsburgh adları ile anılmaktadır. Bütün bu yöntemlerde elde edilen

levha camın eşit kalınlıkta olma, yüzey düzgünlüğü gibi önemli özellikleri son yıllarda ortaya çıkan yeni teknolojilerle anlaşılmıştır.

I.2.3.1. Fourcault Prosesi

Çekme yöntemlerinin en eskisi 1902 yılında Belçika'da ortaya çıkan Fourcault yöntemidir. Bu yöntemde camın yukarı çekilmesi başlangıçta demir lama ile yapılmaktadır. Çekilen camın erimiş cam hamuru üzerinde yüzen ateşe dayanıklı refrakter malzemeden yapılmış debitöz denilen ortası yarık bir debi ayarlayıcısı ile beslenmesi sağlanmaktadır. Camın yüzey düzgünlüğünün çok iyi olmasına karşın debitözün kenarları yüzeyde bazı izler bırakabilmektedir. Cam levhayı yukarı yürütmede, iki tarafta bulunan merdaneler birbirine ters yönde dönerek yardımcı olmakta, bu merdanelerin içinden su geçirilerek ısınan merdanelerin soğuması sağlanmaktadır.

Cam levha, 12-15 m. kadar yukarı çekildikten sonra, yeteri kadar soğumakta ve katılaşmakta, daha sonra da yatay bir kesici ile kesilerek eşit boyda parçalara ayrılmaktadır. Otomatik olarak yapılan bu işlem somucunda kesilen camların diğer kenarları da kesilmek ve gerekirse daha ufak boyutlara getirilmek suretiyle üretim bantı sona ermektedir. Ülkemizde 1963 yılında Çayirova'da üretime geçen cam fabrikası bu yöntemle pencere camı üretimi yapmaktadır.

Bu proseste erime tankından alınan cam, çekme bölümüne alınıyor ve debitözle dikey olarak çekiliyor. Yarık ve debitöz yoluyla cam içerisine daldırılan metal bir olta, cam çekimini başlatır. Cam, yukarıya doğru aktığı sürece bir şerit gibi sürekli olarak çekilir ve yüzeyi, yakınında bulunan su borusu spiralleri ile soğutulur. Şerit, yukarıya doğru yoluna devam eder, destekleyici asbest kaplı çelik merdaneler arasından geçerek, 7-8 m. uzunluğundaki tavlama fırını bacasını kat eder. Tavlama bacasından çıkan cam, istenilen büyüklükte kesilir ve parlatmaya gönderilir. Şekil 4'te Fourcault Prosesi şeması verilmiştir.

I.2.3.2. Libbey-Owens (Colburn) Yöntemi

Bu yöntemle cam üretimi 1917 yılında Libbey Owens-Ford glass Co. tarafından ABD'nde ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde Fourcault yöntemindeki cam üzerinde yüzen debitöz kaldırılmış, yukarı çekilen cam folyünün kenarlarına birbirine ters doğrultuda dönen ikişer merdane yerleştirilerek değişiklik yapılmıştır. Böylece cam folyünün sabit tutulması sağlanmıştır. Bu yöntemdeki diğer önemli değişiklik cam folyünün 1.5 m. yüksekliğe kadar düşey olarak çekildikten sonra 90 derece döndürülerek yatay hale getirilmesidir. Bu değişiklikten ötürü cam folyünü 90 derece döndüren merdane büyük önem kazanmaktadır. Çünkü, cam folyünü düşeyden yataya çeviren merdanelerin sıcaklığı düşük ise cam folyü kopabilmekte, gereğinden sıcak ise cam folyünün merdaneye değen alt yüzünde debitözün bıraktığı izlere benzeyen izler kalmaktadır. Bu yüzden merdanelerin sıcaklığının mümkün mertebe sabit tutulması gerekmektedir. Bundan sonraki üretim aşamalarında Fourcault prosesinden farklı bir olay yoktur. Levha cam motor gücü ile çalıştırılan 200 tane silindir yardımıyla, düzgünleştirme masası ve yatay tav fırınından geçirilir ve sonunda kesme masasına gelir. Şekil 5'te ise bu sistem verilmiştir.

I.2.3.3. Pittsburgh Yöntemi

Bu yöntem levha camı üretiminde 1925 yılında olumlu sonuç vermiştir. Bu yöntem camın düşey olarak çekilmesi ile Fourcault yöntemine, debitözün kaldırılması ile de Colburn yöntemine benzer.

Elde edilen levha cam üzerinde herhangi bir iz olmamakta ve mükemmel parlaklıkta bir levha cam üretilmektedir.

I.2.4. Float Cam Yöntemi (Yüzdürme Yöntemi)

1960'lı yılların sonlarında ilk kez İngiltere'de uygulanmaya başlanan bu yöntem ile levha cam üretiminde kullanılan diğer yöntemlerle elde edilemeyen nitelikte levha cam üretilmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen levha camlarda yüzeyler birbirine tam paralel olmakta, cam yüzeyleri çok düzgün ve parlak olarak alınmaktadır. Sonradan herhangi bir

parlatma ve benzeri işleme gerek kalmamaktadır.İngiltere, Fransa, Belçika, İtalya ve Almanya'da da uygulamaya başlanan bu yöntem, 1983 ve 1984'te ülkemizde Trakya Cam fabrikasında gerçekleştirilmiş ve üretime başlanmıştır.

Havuz fırında eritilen ana maddeler, buradan yatay olarak çekildikten sonra içinde eritilmiş kalay bulunan ikinci bir havuzdan geçirilir.Erimiş cam, Erimiş kalaydan daha düşük yoğunlukta olduğu için, cam kalayın üzerinden adeta yüzerek çekilir.Elde edilecek camın yüzey düzgünlüğü, üst yüz için sıcaklığın etkisine, alt yüz için ise erimiş cam kalay temasına bağlıdır.Erimiş kalay üzerinden geçtikten sonra cam levha yeniden ısıtılmakta ve en sonunda standart boyutlarda kesilmekte ve üretim tamamlanmaktadır.Yüzey gerilim yasasına göre erimiş cam, erimiş kalay üzerinde yatay olarak yüzdüğünde 6mm.'lik bir kalınlık sağlanır ki, bu geçerli bir kalınlıktır.Ancak bazı fiziksel ve mekanik parametreleri değiştirmek suretiyle, bu yöntemle üretilen cam levha büyüklüğü 4-10 mm. arası kalınlıkta cam üretilebilmektedir.Bu yöntemle üretilen cam levha büyüklüğü 3-15 m. genişlik ve 5-10 m. boyda olabilmektedir.

Yüzdürme bölümü girişinde sıcaklık, cam akacak kadar yüksektir.Alt yüzey, temas eden erimiş metal tarafından düzgünleştirilir.Üst yüzey ise, kendi ağırlığı altında düzgün bir hal alır.Düzensizlikler akış tarafından düzeltilirken, cam yüzeyinin yüksek bir sıcaklıkta tutulması tekniğine, alev parlatması denir.Bu şekilde üretilen yüzeyin kalitesi, mekanik silme ve parlatma ile üretilene o kadar yakındır ki, pek çok uygulamada, parlatılmış cam levhanın yerini yüzdürme cam almaktadır.Şekil 6'da bu sistemle beraber, Fourcault prosesinde kullanılan debitöz düzeneği verilmiştir.

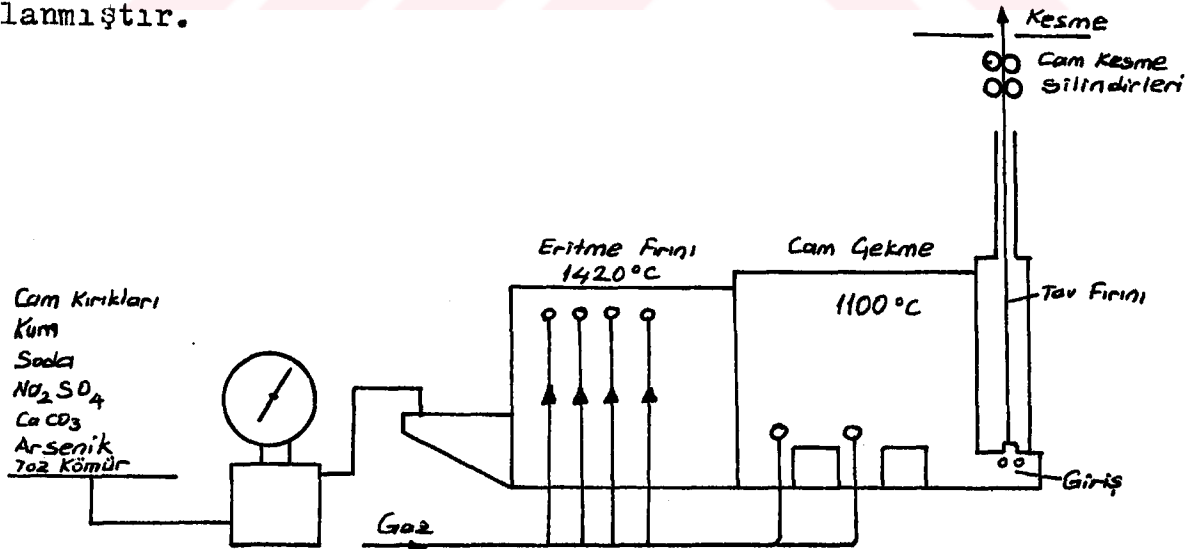
I.2.5. Lif Haline Getirme Yöntemi

Camın lif haline getirilebilmesi, camın kullanılabilir alanlarını oldukça genişletmiştir.Özellikle ısı yalıtımında ve ses emilmesinde Cam lifleri önemli yararlar sağ-

lar.Lif haline getirilen cam, normal cama göre farklı özellikler kazanmakta, büyük bir esneklik ve aynı zamanda yüksek bir çekme mukavemetine sahip olmaktadır.

Camın lif haline getirilmesi için önceden bilye haline getirilmiş olan cam, altında küçük delikler bulunan uzun bir tekne biçimindeki ateşe dayanıklı refrakter malzemeden yapılmış bir tekne içine konur.Isıtılarak eritilen cam bilyeler, teknenin altındaki deliklerden aşağı doğru akarken büyük bir yüzey gerilim kazanarak çok incelikli ve lif haline gelir.Lif haline gelen ve soğuyan cam alttaki bir silindir üzerine sarılır.Daha sonra silindir üzerinden alınan cam lifleri ile değişik nitelikteki cam malzemeler üretilir.Yukarıdaki tekneden eriyerek akan ve lif haline gelen cam üzerine basınçlı buhar üflendiğinde cam lifleri savrulularak birbirine karışır ve pamuk görünümü alır.Buna cam yünü denir.Savrulan cam yünü chamotte'dan yapılmış bir tambura verilip bir kez daha savrulunca, mamûl cam yünü elde edilir.Cam lifleri dokumacılıkta da kullanılabilir.

Bu önemli yöntemlerin haricinde presleme ve köpük haline getirme yöntemleride kullanılmaktadır.Şekil 7'de lif haline getirme yöntemi şematik olarak açıklanmıştır.



Şekil 4. Fourcault Prosesi.

Bazı şekillendirme yöntemlerinin verilmesinden sonra üretim akımının diğer aşamalarından tavlama ve bitirme işlemleri verilecektir.

1.3. Tavlama

Cam malzeme üretiminin bir diğer aşaması olan tavlama biçimlendirmeyi izleyen ve zorunlu olan bir işlemdir. Amacı, fabrikasyon üretim sırasında cam soğurken meydana gelen gerilmeleri, Özenle kontrol edilen bir ısıtma işleminden geçirerek yok etmektedir.

Tavlama işlemi tepeden ısıtılan sürekli bir kanal içinde camı yeniden ısıtarak, iç gerilmelerin giderilmesi sağlanıncaya kadar bekletmek ve daha sonra da yavaş yavaş soğutarak uygulanır. Sıcaklığın düşürülmesi belirli bir soğutma programına göre yapılır. Hemen her tür cam esyada bu şekilde tavlama suretiyle, oluşan iç gerilmeler giderilmiş olur. Bazı biçimlendirme yöntemlerinde biçimlendirme sırasında camın soğumasıyla yeniden ısıtılması gerekebilir. Bu işlem, hem el, hem de makina yardımıyla şekillendirilen esyalar için yapılır. Tavlama, kısaca iki işlemden oluşmaktadır.

1. Bir cam kütlesini, plastik akım yoluyla, önceden belirlenmiş max. bir iç gerginliğe düşebileceği yeterli bir süre, belirli bir kritik sıcaklığın üzerinde tutmak, ve
2. Cam kütlesini, bu max. gerilmenin altında tutmaya yeterli bir şekilde, yavaş yavaş oda sıcaklığına kadar soğutmaktan ibarettir. Tav fırını, dikkatli bir şekilde tasarlanmış, ısıtılan bir odadan başka birşey değildir. Soğuma hızı, daha önce açıklanan gereksinimleri karşılayabilecek şekilde, kontrol edilebilmektedir. Gerilme ile, gerilme tarafından oluşturulan kırılma eğilimi arasında, sayısal bir bağıntı kurulması, cam teknolojilerini mekanik ve ısıtma gerginliklerine dayanabilecek camlar tasarlamaya yöneltmiştir. Önceki bilgileri esas alan mühendisler, sürekli bir tavlama cihazı üretmişlerdir. Otomatik sıcaklık düzenleme ve kontrollü dolaşım, daha az ürün kaybı ve daha düşük yakıt gideri karşılığında, daha iyi bir tavlama sağ-

lamıştır.

I.4. Bitirme İşlemleri

Her tip tavllanmış cam ürün, belirli bitirme işlemlerine sokulmalıdır. Bunlar oldukça basit olmalarına karşın çok önem taşırlar. Temizleme, yüzey silme ve parlatma, kesme, kum püskürtme, emayeleme, sınıflandırma ve ölçme işlemleri, bu kapsama girer. Bunların tümü, hemen her tip cam ürün için gerekli olmamakla beraber, biri veya birkaçı için daima gereklidir.

I.5. Özel Camların Üretimi

Bu kısımda ise erimiş silika camı, yüksek silikalı cam, dağılmaz emniyet camları, optik camlar gibi bazı özel tip camların üretimi anlatılacaktır.

5.1. Erimiş Silika Camı (Camsı Silika)

Saf silikanın eritilmesiyle yapılır. Fakat bu gibi ürünler çoğunlukla kabarcıklıdır ve saydam bir şekilde üretilmeleri zordur. Günümüzde, silisyum tetra klorürün (SiCl_4) buhar fazında yüksek sıcaklık pirolizi yoluyla ve Corning kuruluşu tarafından üretilmektedir. Reaksiyonun yüksek sıcaklığı, istenilmeyen yabancı maddelerin uzaklaştırılmalarına neden olur ve 100 milyonda 1 kısım yabancı madde içeren eritilmiş silika verir. Bu cam, düşük ısı genleşmesi nedeniyle teleskop aynalarının yapımında kullanılır.

5.2. Yüksek Silikalı Cam

Vycor olarak bilinen bu ürün, bileşim ve özellikler yönünden eritilmiş silikaya yaklaşan bir cam üretimi yolunda, önemli bir gelişme sağlamıştır. Tüm işlemleri tamamlanmış ürünler, % 96 silika ve % 3 bor oksitten, geri kalanı ise, alümina ve alkaliden oluşmuştur.

5.3. Dağılmaz Cam (Emniyet Camı)

Dağılmaz camların iki genel tipte toplanması mümkündür. Çok katlı dağılmaz camlar veya tavllanmış ya da su verilmiş camlar.

Bu tipler, ayrı ayrı incelenecek olursa;

a) Çok katlı dağılmaz cam: Günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanılmakta olan çok katlı dağılmaz cam, her biri 3 mm. kalınlıkta iki ince cam levhadan oluşmakta ve bunlar arasında, kırılmayan plastik bir maddeden yapılmış, esnek bir levha bulunmaktadır. Plastik ve cam yıkanır, sonra cama bir yapıştırıcı sürülür. Cam ve plastik levhalar, kenarları kapanmak için, orta derecede bir sıcaklıkta birlikte sıkıştırılırlar. Cam, bir otoklav içerisinde, yüksek sıcaklık ve hidrolik basınç etkisinde bırakılır. Bunun amacı, iç tabakaları çok yakın temasa geçirmektir ve bundan sonra, üç katlı bir cam levhanın kenarları, suya dayanıklı bir bileşik tarafından kapatılır.

Çok katlı dağılmaz cam üretiminde kullanılan cam, normal pencere camı ile aynı fiziksel özelliklere sahiptir. Dağılmaz cam özelliği, yalnızca ara tabaka olan plastikten kaynaklanır ve bu tabaka, kırılan camın dağılmasını önler. Endüstriyel olarak kullanılan ilk plastik, selüloz nitrat olmuş ve bunun yerini selüloz asetat almıştır. Günümüzde hemen tüm dağılmaz camlarda, polivinil butiral reçinesi kullanılmaktadır. Bu vinil plastiği, selüloz asetatdan daha esnektir. Çünkü, oldukça düşük gerilme altında, esneklik sınırına kadar uzayabilir ve bundan sonra, ancak büyük gerilme altında başarısız olur. Her türlü kullanıma şartları altında, saydam ve renksiz kalmaya devam eder. Güneş ışınından etkilenmez ve üretiminde, yapıştırıcıya veya suya dayanıklı maddeye gerek göstermez.

b) Tavlanmış ve güçlendirilmiş cam: Çok sağlam ve dayanıklıdır. Kapılarda, otomobil camlarında, cam boru yapımında kullanılır. Yüksek iç gerginliklere sahiptir ve kırılacak olursa parça parça dağılır. Üretiminde kontrollü tavlama yer alır ve bu suretle, düzgün olmayan gerilmelerin yerini, düzgün, kontrollü ve düşük düzeyli gerilmeler alır. Bu tür camlar, yüksek basınçlara dayandıkları halde, düşük gerilmelerden zarar görürler. Fiziksel tavlama, eski tavlama yönteminin, geliştirilmiş bir şeklidir ve daldırma yönteminden daha az etkilidir. Yeni şekillenmiş cam kap veya levha, 430 C gibi, yumuşama noktasının hemen altında

bir sıcaklığa ısıtılır ve daha sonra hava, erimiş tuz veya yağa batırılarak tavllanır. Bu tavlama işlemi esnasında, camın dış kısmı veya yüzeyi hızlı bir şekilde soğur ve sertleşirken, iç kısmı sürekli bir şekilde daha yavaş soğur ve dış kısmı, dış yüzeyi kendine çekip sıkıştırırken, kendisini düzenleyen bir gerilim oluşturur ve sağlamlığın üç kat artmasını sağlar. Fiziksel araçlarla sağlanmış gerilimleri iki katına çıkarır. Bu işlem, sodyum camının, erimiş lityum tuzu banyosuna daldırılması ve camın dış yüzeyinde, iyon değişimi yapılması şeklindedir. Bunun sonunda, camın dış yüzeyi lityum camı ile ve iç kısmı sodyum camı ile oluşur. Lityum camının daha düşük bir genleşme katsayısına sahip olması ve bu yüzden, soğuma ile oluşan çekmenin, içteki sodyum camından daha az olması, yüzeyi basınç altında bulunan bir ürün verir. Bu şekilde tavllanmış camlar eğilebilir ve bükülebilirler. Normal camlar gibi kolay kırılmazlar. Bunlar, normal camlara oranla daha sağlam olup, üç kat daha mukavimdirler.

5.4. Optik Camlar

Yüksek derecede homojenliğe ve özel bileşime sahip camlar, optik camları oluştururlar ve bunlar, önceden kararlaştırılmış belirli bazı özellikler gösterirler. Optik karakteristikleri, bilimsel cihazlarda kullanılabilecek kadar iyi düzenlenmiştir. Optik camlarda şu özellikler bulunmalıdır:

1. Bileşimleri, istenilen optik özellikleri vermelidir.
2. Parti, yeteri derecede düşük viskozitede cam üretebilmelidir.
3. Cam, uzun bir süre tavlansa bile, camsı karakterini kaybetmemelidir.
4. Renk giderici kullanmaksızın mümkün olduğunca renksiz ürün vermelidir.
5. Kabarcıksız ve çukursuz olmalıdır.
6. Silme ve parlatma komusundaki özellikleri uygun olmalıdır.
7. İklim koşullarına karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olmalıdır.

Optik camların eritilmesinde, tekrar kullanılabilen platin potallardan yararlanılır. Bunlar çok aşınırlar ve kirletmeye neden olurlar veya az aşınırlar ve kirletmezler. Bu konuda, platin astarlı tanklar da kullanılmaktadır. Aslen, her parti, "T" şeklinde ve cam içine daldırılmış elektrotlar tarafından ısıtılarak eritme yapılmaktadır. Berrak bir durum aldıktan ve karıştırıldıktan sonra, şekillendirilerek üretim tamamlanır.

5.5. Temperlenmiş (Ön Gerilmeli) Cam Üretimi

cam malzemenin mekanik şoklara dayanıklı hale getirilmesi için uygulanan işleme temperleme denir. Temperlenmiş cam yapmak için cam plaka, atomlar arasındaki gerilmelere kendisini ayarlayacak kadar yüksek sıcaklığa ısıtılır ve hava üflenerek veya yağda su vererek soğutulur. Camın sözkonusu ısıtma sıcaklığı 700 C civarındadır. Sıcaklığın azalmasıyla yüzey büzülür ve sertleşir. Ancak iç kısım sıcak kalır ve yüzeydeki büzülmeye kendini uydurur. İç kısmın da soğumasıyla cam levhanın her iki yüzünde basınç, iç kısmında ise çekme gerilmeleri oluşur.

Anı soğutma uygulanarak cam levhanın temperlenmesi sonucunda cam levha 300 C'lik bir ısı şoka da dayanabilmektedir. Halbuki temperlenmemiş camda 30-50 C'lik bir ısı şok camın kırılmasına neden olabilmektedir. Temperlenmiş camların mekanik olarak test edilmesinde uygulanan yüksek bilya düşürme deneyinde, temperlenmiş 6 mm.'lik bir cam, 2m. yükseklikten düşen 500 gr. ağırlığındaki bir çelik bilyanın etkisiyle kırılırken, temperlenmemiş cam aynı deneyde 30-40 cm. yüksekten düşen aynı ağırlıkta bilya ile kırılmaktadır. Böylece temperlenmiş camın darbelere karşı dayanımı yaklaşık 7 kat artmaktadır. Ayrıca eğilme dayanımı ise 5 kat artmaktadır.

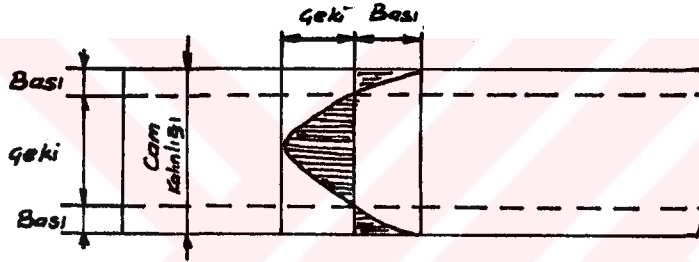
Temperlenmiş camın soğutulması 1970 yılına kadar fırın içinde düşey durumda asılmış olarak yapılıyordu. Bu soğutma sisteminin bazı yararları olmakla birlikte,

- Askı noktalarında gerilmeler oluşması,
- Cam levhanın büyük boyutlu ve ağır olması halinde ısıtma süresinin uzaması ve askı noktalarının kulak oluşturması,

-Cam levha boyutlarının fırın ölçülerine bağlı olarak, 2.75/3 m. den daha büyük yapılamaması.

gibi önemli nedenlerle düşey olarak ısıtma ve de soğutma sistemi terk edilerek yatay sisteme geçilmiştir. Bu sistemde levha camlar fırın içinde, rulolar üzerinde yatay olarak hareket etmekte ve yüzeyleri ısıtıldıktan sonra anı olarak soğuk hava ile soğutulmaktadır. Böylece evvelce sözkonusu olan deformasyonlar ortadan kaldırılmış olmaktadır.

Bu camların kırılabilmesi için herhangi bir çatlak ya da çizginin derinliğinin basınç altında bulunan yüzey kalınlığından içeri girmesi gerekir. Bu durumda çatlak kendi kendine ani olarak ilerler ve tüm cam bezelye tanesi büyüklüğünde kırılır. Şekil 8'de bu camlara ait gerilme diagramı görülmektedir.



Şekil 8. Temperlenmiş cam gerilme diagramı.

I.6.Camın Renklendirilmesi

Cam malzeme istendiğinde renkli olarak da üretilebilir. Renklendirme birbirinden farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir.

Birinci ve en yaygın yöntem, cam eriyiği içine bu eriyiği renklendirecek olan değişik renk vericiler katılmasıdır. Böylece camın tamamı renklendirilmiş olur. Bu yöntemle renklendirilmiş levha camlarda bir koyuluk farkı olmasına karşın, numaralı gözlük camlarında kenar ve orta kısımlar arasında koyuluk farkı olmuştur. Bu yöntemle renklendirilen camlara katılan metal oksit miktarı % 0.001-4 arasında değişir. Aşağıda camın renklendirilmesinde kullanılan renk vericiler, camdaki yüzdesi ve cama verdiği renk gösterilmiştir.

Bakır	% 0.03-0.1	karmen kırmızısı.
Bakır oksit	% 0.2-2	mavi, yeşil.
Kadmiyum sülfö selenit	% 0.03-0.1	karmen k., turuncu
Demir oksit	% 4'e kadar	sarı, yeşil
Kadmiyum sülfid	% 0.03-0.1	Sarı.
Krom oksit	% 0.05-0.2	Yeşilden, sarı yeşile
Altın	% 0.01-0.03	Karmen kırmızısı
Demir oksit	% 1-2	Amber (bal)
Manganez oksit	% 2-4	Amber (bal)
Uranyum oksit	% 0.1-1	Sarı, fluoresan yeşili.
Manganez oksit	% 5-3	Pembe.
Nikel oksit	% 0.05-0.5	Kahverengi ve mor.
Neodimiyum oksit	% 2'ye kadar	Pembe.
Kobalt oksit	% 0.001-0.1	Mavi.....(R.2).

Camın renklendirilmesinde uygulanan ikinci yöntem, camın eşit kalınlıkta bir renkli cam tabakasıyla kaplanmasıdır. Bu yöntemle renklendirilmiş numaralı gözlük camlarında kenar ve orta kısımlar arasında koyuluk farkı olmamaktadır.

Camın renklendirilmesinde uygulanan üçüncü yöntem, camın emaye boya ile boyanıp, fırınlanmasıdır. Bu yöntemde seramik sırtı niteliğindeki emaye boya, belli bir yöntemle cam üzerine kaplandıktan sonra, fırına konur ve 550-600 C'de ısıtılır. Böylece görüntü göstermeyen bir boya tabakası cam üzerine tesbit edilmiş olur. Bazı hallerde emaye boya daha önceden kağıt üzerine baskı yolu ile basılır ve bu baskılı kağıt cam malzeme üzerine yapıştırıldıktan sonra malzeme fırına konur. Cam eşya, özellikle meşrubat şişeleri ve bardaklar üzerine bu yöntemle yazı ve desenler yapılmaktadır.

1.7. Bazı Cam Türleri

7.1. Soda Kalsik Camı

Bunlara soda kireç camları da denir. Tüm dünyada üretilen camların % 90'ını teşkil ederler. Ucuz ve kolayca şekillendirilebilmesine karşın, ısıl şoklara mukavemet ve kimyasal stabilite gerektirmeyen haller dışında kullanılır.

Her tip kap, oto camı, mutfak eşyası yapımında kullanılırlar. Bileşimi, % 70-74 SiO_2 , % 5-13 CaO ve MgO , %13-16 Na_2O . Bu oranlardaki ürünler erimek için çok yüksek sıcaklıklara gerek göstermezler. Bütün düz camların fiziksel kalitesinde, düzgünlüğün artması ve gerilmelerin önlenmesi sağlanmış fakat, kimyasal bileşimde büyük bir değişiklik olmamıştır.

7.2. Kurşun Camları (Kristal Camlar)

Yüksek olan kırılma indisleri ve ışık dağıtımları nedeniyle, optikte önemlidirler. Sodakalsik camındaki kireç yerine PbO geçtiğinde geniş bir uygulama alanı olan kurşun camı elde edilmiş olur. Kurşun miktarı % 92, yoğunluğu 8 ve kırılma indisi 2.2'ye kadar olan camlar yapılmıştır. Sodakalsik camında % 15 oranı ile sınırlı olan CaO yerine geçen PbO , % 80 oranının üzerine çıkabilmektedir. PbO , camın erime noktasını düşürerek, yumuşama noktasını CaO 'lu camlarınkinin de altına düşürür. Ayrıca cama kolay işlenebilme, ışığı yansıtma ve yayma özelliği kazandırır. Cam eşyanın parlaklığı kurşun miktarına bağlıdır. Kurşun oksit miktarının % 80'i aştığı kurşun camı özellikle γ ve X ışınlarından korunmak için kullanılmaktadır. Kurşun camlarının pahalı oluşları nedeniyle günümüzde bu camların yerine mümkün mertebe BaO kullanılmaktadır.

Boşluk tekniğinde kullanılan bileşim: % 56.6 SiO_2 , % 1.4 Al_2O_3 , % 30 PbO , % 4 Na_2O , % 8 K_2O .

Düşük eritme sıcaklığından ötürü cam kaynağında kullanılan cam bileşimi: % 6 SiO_2 , % 13 B_2O_3 , % 81 PbO .

7.3. Borosilikat Camları

Bu camların nispeten yüksek bir yumuşama noktası vardır. Buna karşın, ısıl şoklara karşı büyük bir mukavemet sağlayan büyük bir genleşme katsayısı, su ve asitlere karşı çok iyi mukavemet göstermesi, üstün elektriksel özellikleri ile dikkat çekicidir. Bu özellikler, borosilikat camlarının, laboratuvar cam eşyası, mutfak eşyası, astronomik aynaların yapımında kullanılmasını sağlamıştır. Ateşe dayanıklı, tungsten, molibden, demir, nikel, kobalt

gibi alaşımlarla kullanılabilmektedir.

Çoğunlukla % 13-28 B_2O_3 , % 80-87 silika'dan oluşurlar. Elektriksel dirençleri yüksektir. 3 tip borosilikat cam bileşimi vardır.

1. Pyrex Borosilikat: % 80.5 SiO_2 , % 12.9 B_2O_3 , % 2.2 Al_2O_3 , % 3.8 Na_2O , % 0.4 K_2O .

2. Tungsten Borosilikat: % 67.3 SiO_2 , % 24.6 B_2O_3 , % 1.7 Al_2O_3 , % 0.2 MgO , % 4.6 Na_2O , % 1.0 K_2O .

3. Kovar Borosilikat: % 68.9 SiO_2 , % 21.4 B_2O_3 , % 2.3 Al_2O_3 , % 0.2 PbO , % 2.8 Na_2O , % 4.4 K_2O .

7.4. Alümino-Silikat Camları

Bu camlar, % 20'den biraz fazla alümin, az miktarda bor, bir miktar kireç ve magnezit, ve çok az alkali içerirler. Bazı durumlarda, alkali bünyeye girmeyebilir. Ancak, alkali bulunmaması durumunda bu camların eritilmesi ve işlenmesi borosilikat camlarından daha güç hale gelir.

Yumuşama noktasının yüksek ve dilatasyon katsayısının küçük olması, bu camların termometre, yanma tüpleri ile alevle doğrudan temas edecek her türlü parçanın yapımında özellikle kullanılmasını sağlamaktadır.

Boşluk tekniğinde, yumuşama noktasının yüksekliği nedeniyle projeksiyon ampulleri ve saydam fosforlu katot tüplerinde, ayrıca, yüksek sıcaklıkta elektrik kayıplarının küçüklüğü ve yine yumuşama noktasının yüksekliği nedeniyle kullanılmaktadır.

Bileşimleri: % 57 SiO_2 , % 4 B_2O_3 , % 20.5 Al_2O_3 , % 5.5 CaO , % 12 MgO , % 1 Na_2O .

7.5. % 96 SiO_2 içeren Silis Camı

Özellikleri yönünden saf silis camına benzer ve fabrikasyon tekniği yönünden büyük hüner gerektirir. Geleneksel camların bir kısmı ile gerçekleştirilebilen presleme yöntemleri ile şekillendirme bu camlara da uygulanır. Dilatasyon katsayısı daha önce açıklanan camlarından küçüktür. % 99 SiO_2 içeren silis camından büyüktür. Ateşe dayanıklıdır. Bu cam, çok saydam olduğu için, ultraviyole ışınlarını çok iyi geçirir. Bu yüzden, u.v. lambaları ile

bazı özel tip lambaların üretiminde kullanılır.

Bileşimleri: % 96.3 SiO_2 , % 2.9 B_2O_3 , % 0.4 Al_2O_3 , % 0.2 Na_2O , % 0.2 K_2O .

7.6. % 99 SiO_2 içeren Silis Camı

Bu cam, çok saf kuvars kumunun herhangi bir eritici madde olmadan eritilmesi ile elde edilir. Bu camın üretimi ve özellikle biçimlendirilmesi 1750°C gibi çok yüksek sıcaklıkta yapılmasını gerektirdiği için çok zordur. Bu yüzden üretilecek nesnelerin şekilleri ve boyutları sınırlıdır. Genleşme katsayısı çok küçük, yumuşama noktası çok büyüktür. U.V. ışınlarını iyi geçirir. Dielektrik özellikleri çok iyidir, ancak, fiyatı çok yüksektir. Bu yüzden elektronikte çok sınırlı olarak kullanılırlar.

Mevcut camlar içinde ısı şoklarına karşı en mukavim camdır.

1.8. Camın Özellikleri

1. Fiziksel Özellikleri

1.a. Yoğunluk

Binalarda kullanılan normal camların yoğunlukları, 2500 kg/m^3 tür. Bazı özel kullanım amaçları için daha yoğun camlar gerekir. Laboratuvarlarda X ışınları ile çalışıldığında, 4600 kg/m^3 ve % 50 PbO içeren camlar kullanılır. Bu ışınlarla yapılan çalışmalarda, seyir pencereleri için 6000 kg/m^3 lük camlar kullanılır.

1.b. Sertlik

Mohs sertliğine göre camın sertliği ortoz (6) ile kuvars (7) arasındadır. Bu düzeydeki sertlik, cama iyi bir aşınma direnci kazandırır. Böylece parlak yüzeyli cam ürünler, saydamlığını muhafaza ederler. Normal pencere camı için Mohs sertlik değeri 5.5 dolayındadır.

1.c. Lineer Dilatasyon Katsayısı

Camın lineer dilatasyon katsayısı 8.7×10^{-6} 'dır. Bu rakam, çelik için (11×10^{-6}) olan değere çok yakındır. Alüminyumunkinden (23×10^{-6}) daha küçüktür.

1.d. Isınma ısısı: Cam için $1.16 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ veya $1 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ 'lık

bir ısı geçirgenlik katsayısına karşılık, yine cam için ısınma ısı 795j/kg C'dir.

1.e.Kırma İndisi

camın kırma indisi, doğrudan yoğunluğu ile ilgilidir. Adi camda 1.52 olan kırma indisi kristal camda 1.60'tır.

1.f.Yumuşama Sıcaklığı

Camın yumuşama sıcaklığı 500-600 C civarındadır.

2.Kimyasal Özellikler

Cam malzemeyi kimyasal olarak etkileyen sadece hidro-florik asittir.Hidroflorik asit özellikle cam yüzeylerin işlenmesinde yüzeyin matlaştırılması için kullanılır.

İçine kireç (CaCO_3) katılmamış camlar su karşısında stabil değildirler.Bu tür camlara su camı denir.

Normal pencere camları ve suyla teması olabilecek her türlü camın su karşısında stabil olabilmesi için bunların bileşimine kireç katılması zorunludur.

3.Mekanik Özellikler

Basınç mukavemeti, elastiklik modülü ve poisson oranı gibi özelliklerin kapsamı mekanik özellikleri oluşturur. Bütün kırılğan malzemelerde olduğu gibi cam malzemenin de basınç ve çekme mukavemetleri arasında büyük farklar vardır.Bu fark, cam malzemede 20 kat fazladır.

3.a.Basınç Mukavemeti

Kırılma yükü olarak camın basınç mukavemeti 10^9 Pa, ya da 10000 kgf/cm² dir.

3.b.Çekme Mukavemeti

Kırılma yükü olarak camın çekme mukavemeti $4-7 \times 10^7$ Pa, ya da 400-600 kgf/cm² dir.Akvaryum, yüzme havuzu ve raf gibi yerlerde bu değer, 2×10^7 Pa, ya da 200 kgf/cm² olarak alınabilir.Anı soğutulan temperlenmiş camlarda bu değer, 5×10^7 Pa, ya da 500 kgf/cm² olarak alınabilir.

3.c.Elastiklik Modülü

Camın elastiklik modülü 7.2×10^{10} Pa, ya da 730000 kgf/cm² dir.

3.d.Poisson Oranı

camın poisson oranı 0.22'dir ve ile gösterilir.

I.9. Erimiş Camın Özellikleri

Erimiş cam hamurunun biçimlendirme açısından en önemli özelliği viskozitesidir. Camın erimiş halinden katı haline kadar viskozitesi farklılık gösterir. Başka bir deyişle, cam hamuru değişik sıcaklıklarda değişik viskoziteye sahip olduğundan, camın biçimlendirilmesi ile ilgili olarak değişik viskozite değerlerinin hangi sıcaklık değerlerine karşılık hangi viskoziteye veya değişik viskozite değerlerinin hangi sıcaklık değerlerine karşılık geldiğinin bilinmesi zorunludur.

Camın viskozitesi erime sıcaklığında 10^2 poise, tavlama sıcaklığında 10^{14} poise, soğuk durumda 10^{20} poise'dir. (1400 C'de sodakalsik camı dinamik viskozitesi 100 poise'dir.).

Camın sıcaklığı arttıkça, hacmi artar, soğudukça azalır. T_c sıcaklığında katılaşma biter, atomlar oluşturdıkları düzensiz yapısını korur. Isıl büzülme nedeniyle hacim azalması sürer. $T_e - T_c$ sıcaklıkları arasında cam aşırı soğutulmuş sıvıdır.

Camın belirli sıcaklıklardaki viskoziteleri değişik sıcaklık noktaları olarak ifade edilmektedir. Bu değerler, logaritmik olarak şöyle verilmektedir:

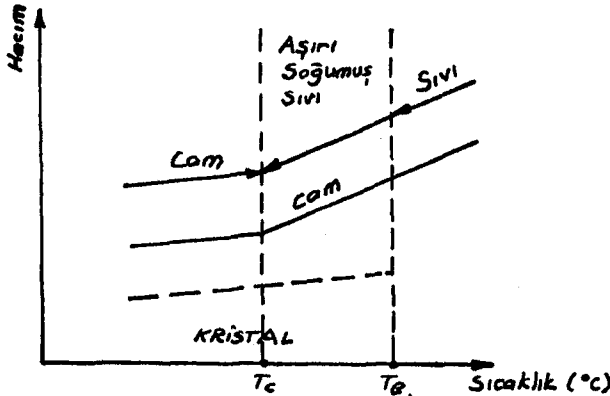
Çalışma sıcaklığı.....Log= 4 poise

Yumuşama sıcaklığı.....Log= 7.65 poise

Tavlama sıcaklığı.....Log= 13.4 poise

Sertleşme sıcaklığı.....Log= 14.6 poise

Şekil 9'da camın sıcaklık hacim diagramı verilmiştir.



Şekil 9. Sıcaklık-Hacim Diagramı.....(R.2)

Bu kısma kadar, cam üretiminin çeşitli aşamaları ve bu aşamalar hakkında sınırlı bilgiler verilmiştir.

Bundan sonraki bölümde, cam fırınları hakkında verilen bilgiler, biraz daha genişletilecek ve daha sonra hesaplara geçilecektir.

II.CAM ERGİTME FIRINLARI

II.1.Fırında Gelişen Olaylar

Fırın içinde gelişen olaylara sırasıyla bakılmak istendiğinde öncelikle harman incelenmektedir.Daha önce de verildiği gibi, harman belirli kimyasal maddelerden oluşur.Bunları tekrar verirsek,

Kum: SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 , ZrO_2 gibi malzemeler.

Soda: Na_2CO_3 'ten hazırlanan Na_2O .

Kireçtaşı: CaCO_3 'ten elde edilen CaO .

Stabilizatör olarak dolomit: $(\text{Mg.Ca})\text{CO}_3$

Bazı sülfatlar: Na_2SO_4 , CaSO_4 .

Feldspat: $\text{Na}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2$.

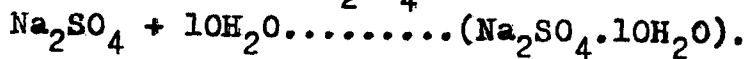
Daha önce de verildiği gibi, hammaddelerin oluşturduğu harman ısıtılınca, bazı reaksiyonlar olur.Fırın re-
rakterleri, harman malzemelerinin reaksiyona girdiği sıcaklıkta, cam malzemeleriyle reaksiyona girer.Bu yüzden, harmanın belirli bir bölümü olarak kabul edilebilir.

Buradaki reaksiyonların etkilendiği faktörler şunlardır:

1. Sıcaklık: En önemli faktör olup, reaksiyon hızını exponansiel olarak, doğru orantılı etkiler.
2. Hammadde Tane Büyüklüğü.
3. Fırın içindeki su, CO, CO_2 , hidrojen, azot ve çeşitli hidrokarbonlar olup, en önemlisi, % bakımından azottur.
4. Fırın basıncı atmosfer basıncı ile aynı olduğundan önemli kimyasal rol oynamaz.
5. Fırın içindeki reaksiyonların kütle transferi ile gelişmesi açısından difüzyon katsayısı önemlidir.

Oluşan Reaksiyonlar

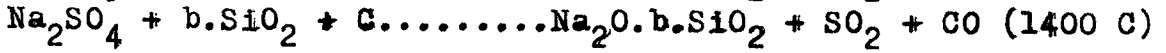
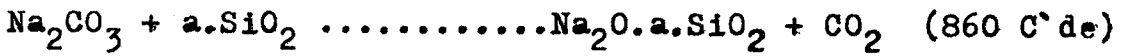
İlk reaksiyon, Na_2SO_4 'ün su ile hidratlar oluşturmasıdır.



Bu reaksiyon ekzotermik olup, 30 C'nin üzerinde gerçekleşir. Enerji toplanmasını sağlar, ve sıvı olduğu için bağlayıcı görevi yapar. 30 C'nin altında katılaşarak harman içinde problemlere yol açabilir.

Bundan sonraki aşama, suyun buharlaşmasıdır. Burada, suyun buharlaşması ile oluşan sodyum ve kalsiyum karbonat karışımları bazı durumlarda reaksiyonun hızını arttırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Sıcaklığın artışıyla, sodyum silikat bileşimleri oluşmaktadır.



Bundan sonraki aşamada CaCO_3 bozunarak, CO_2 ve CaO oluşturur.



Buradaki CaO , SiO_2 ve Na_2O ile reaksiyona girer. Burada, stabilizatör olarak görev yapar.

Daha sonra, Na_2SO_4 , karbon ve hidrojen ile reaksiyona girer. Bu reaksiyonlardan, sülfür (-) anyonları elde edilir. Sülfürler, SiO_2 ile kolay reaksiyon verirler ve reaksiyon hızlanmış olur. Sonuçta ($\text{Na}_2\text{O}.x.\text{SiO}_2$) bileşimi elde edilir.

Reaksiyon hızlarını etkileyen faktörler, genellikle Na_2O , K_2O ve Li_2O gibi alkali oksitleri olup, bununla beraber, CaO ve MgO gibi bazı stabilizatörler olup, hammaddelerin tane büyüklüğü, difüzyon gibi etkenler vardır. Hammaddeler içinde tane büyüklüğü eritmeyi etkileyen en önemli malzeme kumdur.

Boyutu 0.5 mm.'den küçük kum taneleri kolaylıkla erir. 0.5-1 mm. arasında kum ile silika segregasyonu tehlikesi vardır. 1-2 mm. arasında segregasyon şiddetlenir, taş oluşabilir. 2-3 mm. arası tehlikelidir. Taş oluşur. 3 mm.'den büyük taneler daha tehlikelidir.

Na_2SO_4 kullanımı bir ölçüde segregasyonu engelleyebilir. Çünkü candan hafif olup cam yüzeyinde yüzer. 1400 C'de SiO_2 ile reaksiyona girer ve silika segregasyonunu önler.

Bundan sonraki olay afınasyondur.

II.2. Afinasyon

Afine prosesi, cam eritilmesinin en önemli unsurlarından biridir. Bu proseste, erimiş camdaki gazlar atılmalı, erimiş cam homojenleştirilmelidir. Burada, 1 saat gibi bir yeterli süreye ihtiyaç vardır. Afine bölgesinde alttan sağlanan enerji ihtiyacı, bloktan olan ısı kayıplarını karşılasın ve harmanın eritilmesinin tamamlanması için gerekli olan enerji istenen seviyeye ulaşsın diye cam yüzeyini temiz tutabilmelidir.

Harman artıkları afine bölgesine ulaşsın ve afinasyon bölgesinde bir termal bariyer ile bir şartlandırma bölgesi sağlansın diye yeterince uzun süreli belirli bir sıcaklık gerekir. Termal bariyer bazen mekanik bir bariyerle, veya bir bubler sırasıyla birleşiktir. Eritme ve afinasyon bölgesi arasında alternatif bir bariyer ise, 150 m^2 'den daha az yüzeyli fırınlarda başarılı sonuçlar veren bir savaktır.

Eritme ile kıyaslandığında kompleks bir prosestir. Bu proseste, harman artıklarından ayrılmış olan cam habbeleri giderilerek, homojenleştirilir. Camların afinasyonları cam üretiminin tipine göre farklılık gösterir. Çünkü homojenlik dereceleri de değişecektir.

Bu konuda, laboratuvar deneyleri gerçekçi sonuçlar verememektedir. Çünkü, model olarak kurulan eritme kapları içinde türbülans oluşmamakta, ayrıca eritilen cam miktarı daha az olmaktadır. Bunun için, çok özel koşullar gerekir. Örnek olarak, platin potalarda, karıştırıcılarla eritme yapılması gerekmektedir.

II.2.1. Habbelerin Giderilmesi

Harmandan ayrılmış bulunan camlar, içerdikleri gazlar bakımından çok çeşitli şekilde gruplandırılabilir. Bu gazları şöyle açıklayabiliriz:

- Harman bünyesindeki N_2 , O_2 , su buharı gibi gazlar.
- Hammaddelerin bozunmasıyla ortaya çıkan CO_2 , SO_2 , O_2 , SO_3 gibi gazlar.
- Yanma gazları. H_2 , CO , H_2O ve bazı hidrokarbon gazları. Bu gazların camdaki çözünürlükleri farklıdır. Fırın içinde

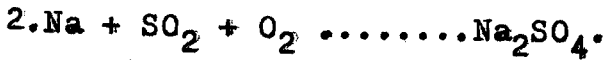
afinasyonu arttırmak için, en sık uygulanan yöntem sıcaklığı arttırmaktır. Sıcaklık arttırılırsa, viskozite düşecek, difüzyon katsayısı artacak ve afinasyon hızlanacaktır. Bir fırında sıcaklık, fırınların diğer boyutları doğrultusunda olduğu gibi derinliği boyunca da değişir. Derinlik arttıkça, basınç da artacaktır. Tabandaki basınç, genelde, yüzeydeki basıncın birkaç katı kadardır. Fırın tabanında, sıcaklık düşük, basınç da yüksek olduğundan, habbelerin erimesi kolaylaşacaktır. Ancak, kütle akım halinde yüzeye taşınırsa habbeler yeniden belirir ve bu olaya "reboil" denir. Camın habbeden ayrılması iki tipte olur. Cam yüzeyinden uzaklaşarak, cam içinde çözünerek.

II.2.1.1. Cam Yüzeyinden Uzaklaşma

II.2.1.2. Cam İçinde Çözünme

Cam içindeki habbelerin içerdiği gazlar farklı olup, bunların çözünürlükleri de farklıdır. Bunlardan en kolay çözünen gaz subuharı olup, bundan sonra sırasıyla O_2 , CO_2 , SO_2 , hidrokarbonlar, hidrojen, CO ve nihayet azot en az çözünen gazdır. Yani subuharı içeren habbeler cam içinde çok kolay kaybolmasına karşın, azot içeren habbeler çok zor kaybolmaktadır.

Burada dikkat edilecek husus şudur. Su buharı içeren bir habbe, küçülecektir. Çünkü, su buharı cam içinde çözünecektir. Ancak, cam içine su buharı geçerken, cam içindeki azot ve CO habbeye geçmemelidir. Bu, çok sık rastlanan bir olaydır. Habbe içindeki kükürt dioksit miktarının hareketleri, atmosferin indirgen veya yükseltgen oluşuna göre ve sıcaklığa göre değişir. Yüksek sıcaklıkta SO_2 ve O_2 içeren habbeler, camın sodyum iyonları ile Na_2SO_4 oluşturur.



İndirgen atmosferde, sodyum sülfat indirgenerek SO_2 ve S oluşur. Sıcaklığın düşmesiyle S, habbe kenarlarında yoğunlaşır.

II.2.2. Habbe Hataları

Cam maddelerde, en önemli habbe olayları şunlardır. Habbelerin içindeki gazlar, habbe sayısı ve dağılımı, mamul üzerindeki yeri ve boyutları.

Çünkü, habbe içindeki gazın tipine göre habbelerin oluştukları bölgeler tesbit edilebilmektedir. Örnek olarak habbe içinde su buharı varsa, bu, camın hemen fırın çıkışında oluşur. Oksijen varsa bu afinyasyon bölgesinde, diğer gazlar varsa herhangi bir bölgede oluşmuş olabilir.

II.2.2.1. Habbe oluşumuna Neden Olan Faktörler

Fırın içindeki refrakter oksitleri, taşlar ve tozlar gaz ve dolayısı ile benzeri şeyler habbe oluşumuna yol açarlar.

Refrakter malzemelerin camla temas ederek cam içinde çözünmesi, camın SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 gibi refrakter malzemelerince zenginleşmesini, buna karşın alkali oksitlerinin fakirleşmesini sağlar. Bu durum, gazların cam içinde çözünürlüğünü olumsuz yönde etkiler ve dolayısı ile camda erimiş halde bulunan gazların tekrar çıkmasına yol açar.

Bunun dışında, fırındaki oksitli refrakter malzemeler, oksijen çıkışına yol açarlar. Silisyum karbür, karbon gibi refrakterler ise, SO_2 , CO_2 gibi gazların oluşumuna yol açarlar. Dolayısı ile, abrazif olarak kullanılan SiC 'nin, fırının içine girmesine izin verilmemelidir.

II.2.3. Homojenleşme

Camın çeşitli bölgeleri arasındaki bileşim ve yoğunluk farkı homojenliğin olmayışını gösterir. Bu durum cam üretimi çok iyi koşullarda yapılsa bile sıkça gözlenen bir olaydır. Üretim koşullarının bozulması, bu durumu arttırıcı bir etki yapacaktır. Camın homojenleşmesi çeşitli yollarla sağlanabilmektedir.

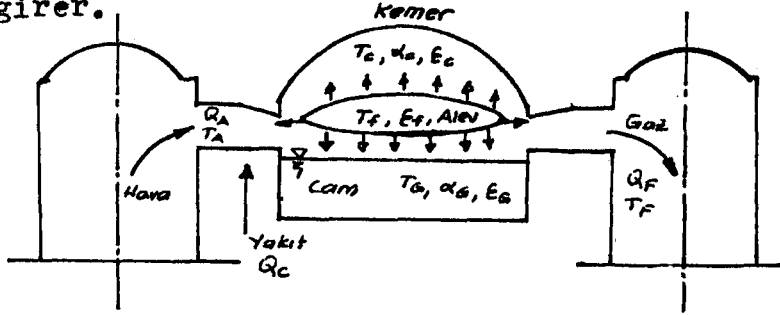
Sıcaklık arttırılarak difüzyon katsayısı arttırılır ve viskozite azaltılır. Bu durumda fırın refrakterlerinin ömrü ve kalitesi düşer. Buna alternatif bir yol olarak camın fırın içindeki hızı düşürülür. Amaç daha iyi ısı transferi sağlamaktır. Bunu sağlamak için, fırın içine daha önce açıkladığımız throat, baraj gibi termal bariyerler konur.

Homojen olmayan tabakaların inceltilmesi, bu suretle difüzyonun tamamlanması için gerekli sürenin azaltılması yani difüzyon mesafesinin kısaltılmasını sağlar. Bu inceltme, fırın içine akışkanlar mekaniği ilkelerine göre dizayn

edilmiş bir karıştırıcının yerleştirilmesi ile sağlanır.

II.3. Yanma

Cam fırınına reaksiyonun olduğu sistem olarak düşünürsek, yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji, ısı transferi yoluyla cama verilir. Bu, camda bir dizi reaksiyonun oluşmasını sağlar. Aynı zamanda cam içerisinde akımlar oluşur. Bu akımlar tamamen akışkanlar mekaniği kapsamına girer.



Şekil 10. Yanma hücresinde sıcaklık dağılımı.

α = Absorbsiyon katsayısı, ϵ = Emisivite katsayısı,

A = Air yani hava, f = Flame yani alev, C = Crown yani kemer

F = Baca gazı, G = Glass yani cam.

Sistemin ısı balansı kurulursa:

$$(Q_c + Q_a) - Q_f = Q_h$$

$$Q_h = Q_1 + Q_w + Q_{BC}$$

Q_c = Yakıtın verdiği ısı,

Q_a = Yakma havasının ön ısıtılmasıyla fırına geri dönen ısı

Q_f = Yanma gazlarının götürdüğü ısı,

Q_h = Cama iletilen ısı,

Q_1 = Camın reaksiyon ısısı, reaksiyon ve dekompozisyon ısısı

Q_w = Duvar kayıpları,

Q_{BC} = Geri dönüş akımlarından kaynaklanan ısı.

$$\text{Fırın Verimi } \eta = \frac{Q_h}{Q_c + Q_a} \text{ şeklindedir.....(R.3)}$$

Alev sıcaklığı, emissivitesi, kemer sıcaklığı, emissivitesi ve absorbsiyon sıcaklığı, camın yüzey sıcaklığı, emissivitesi, absorbsiyon katsayısı, harman sıcaklığı ve

harmanın emissivitesi ısı transferini etkileyen parametrelerdir.

Brülörlerin verdiği alevler, cama, fırın üst yapısına, kemere radyasyon ve konveksiyon yoluyla ısı verir. Radyasyonla ısı transferi, sıcaklıkların dördüncü kuvvetiyle, emissivite katsayısının çarpımıdır. Konveksiyonla ısı transferi ise alev hızı ile yüzeylerin sıcaklıklarının farkına bağlıdır. İyi bir ısı transferi, % 90 radyasyon, % 10 konveksiyon ve kötü bir ısı transferi ise, % 50 radyasyon, % 50 konveksiyon yolu ile oluşur. Alev sıcaklığı ortalama olarak, 1700-1900 C dolayındadır. Emissivitesi ise, yakıt türüne, alev tipine göre 0.1-0.6 arasında değişir.

Cam sıcaklığı için net bir değer verilememekle birlikte, 1500 C'nin altında olduğu bilinmektedir. Camın emissivite değeri ise 0.95 alınmaktadır. Ancak genelde optik bağlantılara göre değişir.

Kemer sıcaklığı 1600 C'dir. Genellikle kimerden olan ısı transferi önemsizdir. Çünkü cam alev radyasyonu ile ısı almaktadır.

II.3.1. Yakıt Türleri ve Yanma

Eskiden cam fırınlarında kömürden elde edilen gazlar kullanılırdı. Günümüzde ise, tabii gazlar ve sıvı yakıtlar tercih edilmektedir. Bu yakıtlar, karbon, hidrojen, metan ve bazı hidrokarbonlardır. Yanma ürünleri, azot, su ve karbondioksittir. Yakıt tam yanmazsa CO, ve bazı hidrokarbonlar oluşur. Fazla hava verilirse, yanma ürünlerinde oksijen oluşur.

II.3.1.1. Gaz Yakıtlar

Gaz yakıtlarda, yanmayı genelde, şunlar etkiler:

Verilen gazın hızı (30-100 m/s.), yanma gazlarının emissivitesi, sıcaklık gibi parametreler etkilemektedir.

Gaz yakıtların bileşimindeki hidrojen oranı yüksek, karbon oranı daha az olduğundan emissivitesi düşüktür. Emissivite, yaklaşık olarak 0.1-0.2 düzeyinde olup, bu düzey ısı transferini azaltır. Ancak, alev sıcaklığı 1900 C'yi bulmaktadır. Bu durum, oluşan negatif etkiyi bir ölçüde

giderir. Metanın 1000 C'nin üzerinde parçalanması koyu renk bir is oluşturur. Bu ise, alev emissivitesini artırır.

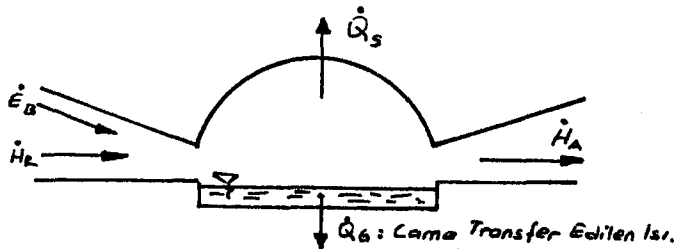
II.3.1.2. Sıvı Yakıtlar

Sıvı yakıtın püskürtülmesi önemli bir konudur. Püskürtme, yakıtı çok küçük bölümlerine ayırarak, yanmayı kolaylaştırır. Yakıtın ayrıldığı tanecikler, ne kadar küçük olursa yanma o kadar verimli sonuç verir.

Öncelikle, tane dış yüzeyi yanar ve ısı açığa çıkar. Bundan sonraki aşama tanenin sıcaklık artışına paralel olarak buharlaşması ve son olarak parçalanmasıdır. Bunun sonucu, karbon taneciklerinin oluşturduğu 400 A büyüklüğünde is oluşur ve dolayısı ile emissivite artar. Yanma hızı, yakıtın kimyasal bileşimine ve hava ile karışımına bağlıdır.

II.3.1.3. Yakıt Verimi

Yakıt verimini veren farklı parametreler verilmiştir. Bunların en iyisi, Heiligenstaedt (R.3) tarafından verilmiştir. Fırın üst yapısına verilen enerji miktarı $\dot{E}_B$, yanma havası ve yanıcı gazların entalpisi $\dot{H}_R$, atık gazların entalpisi fırını $\dot{H}_A$ olarak terk ediyor, yan duvarlar ve kemerden olan ısı kaybı $\dot{Q}_S$, ve erimiş cama transfer edilen ısı $\dot{Q}_G$ ve aşağıda verildiği gibi yakıt verimi 'tir.



$$\text{Fırın verimi} \dots\dots \eta_f = \frac{\dot{E}_B + \dot{H}_R - \dot{H}_A}{\dot{E}_B} = \frac{\dot{Q}_G + \dot{Q}_S}{\dot{E}_B}$$

$$\text{Yanma hacmi verimi} \quad \dot{\eta} = \frac{\dot{E}_B + \dot{H}_R - \dot{H}_A}{\dot{E}_B + \dot{H}_R} = \frac{\dot{Q}_G + \dot{Q}_S}{\dot{E}_B + \dot{H}_R}$$

$$\text{Faydalı ısı} \dots \dot{\eta}_f = \frac{(\dot{E}_B + \dot{H}_R) - (\dot{H}_A + \dot{Q}_S)}{\dot{E}_B + \dot{H}_R} = \frac{\dot{Q}_G}{\dot{E}_B + \dot{H}_R}$$

$$\text{Yakıt kullanımı.....} = \frac{Q_g}{E_B} \text{(R.3)}$$

η_f yakıt verimi olarak alınmamalı fakat, sadece yanma odasında transfer edilen ısıyı içermediği, ayrıca onunla bağlantılı olan reküperatör ve regeneratör verimini içerdiği için fırın etkinliğidir. Bunlar fırının parçalarıdır. Ancak ateşleme ve yanma sisteminin parçaları değildir ve bu yüzden η_f 'in fırın verimi olarak açıklanması daha doğrudur.

Gailhbaud (R.3) yakıt etkinliğinin yakıtla verilen enerjiyle ilgili olmadığını, fakat toplam enerji ile ilgili olduğunu ileri sürmüştür. ($E_B + H_R$), fırın üst kısmına veriliyor ve bu, kullanım faktörü olarak adlandırılıyor. Yakıt veriminin hesabı için η_f , yukarıda tanımlandığı üzere, η_f 'ten daha uygundur.

Eğer her bir fırının spesifik yakıt sarfiyatları yakıt verimleri η_f ile karşılaştırılırsa, sonuçta, max. η_f sahip fırınların en düşük enerji sarfiyatını vermediğini gösterir.

Bir fırın % 76.45 yakıt verimi verirken, spesifik enerji sarfiyatı 8540 kJ/kg.cam ve buna karşın diğer fırın % 64.53 yakıt verimi sağlarken, spesifik yakıt sarfiyatı 7517 kJ/kg.cam olmaktadır. Yakıt verimi kavramı enerji sarfiyatı kriteri olarak sadece limit kullanım durumunda geçerlidir.

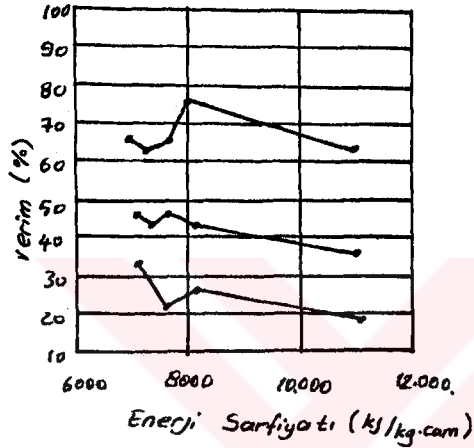
Yararlı ısı mukayesesi bir yüzdelik olarak, daha iyi korelasyon gösteren η_f ile açıklanmıştır.

Eğer η_f herbir fırın tankı için hesaplanırsa, spesifik yakıt sarfiyatı η_f ile, η_f 'ten daha iyi bir korelasyon verir.

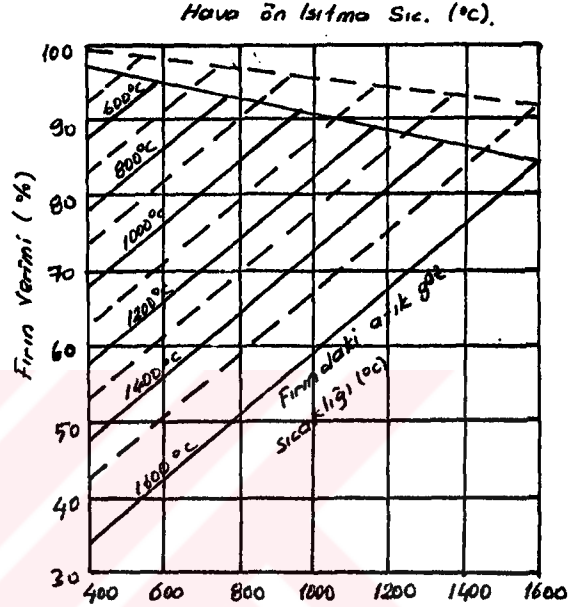
Şekil 11.'de konuya ilişkin bir diagram verilmiştir.

Bu diagram, spesifik yakıt sarfiyatına karşı olan, yararlı ısı ve η_f ve η_f verimlerini göstermektedir. Yakıt sarfiyatındaki bir artış, verimlerde ve faydalı ısıda tabloda gösterildiği gibi bir muntazam düşmeye neden olur. Yararlı ısı ve η_f büyük dalgalanmalar gösterse bile bu sadece yaklaşık η_f için geçerlidir. Bu, bir tesisin veriminin tahmini

için η_f 'in η_f 'ten daha uygun olduğunu önermektedir. Verim, sonraları geliştirilmiş kontrollü üstten yakmanın, daha iyi izolasyonun ve yüksek ön ısıtma sıcaklıklarının bir sonucu olarak günümüzde % 50 ve üzerindeki değerlere çıkmış durumdadır. Özellikle modern konteyner cam fırınlarında bu geçerlidir. Şekil 12'de ise fırın veriminin hava ön ısıtma sıcaklığına bağlı değişimini görebiliriz.



Şekil 11.....(R.3)



Şekil 12.....(R.3)

Şekil 12, kesikli çizgiler için ($\lambda=1$) ve düz çizgiler için ($\lambda=1.14$) hava fazlalık katsayısında, atık gaz sıcaklıklarını ve farklı hava ön ısıtma sıcaklıkları için η_f yakıt ve verimini göstermektedir. Yanma havasının sadece bir kısmı regeneratörde 1350 C'ye ısıtılır ve geri kalanı fırın içine soğuk olarak alınır.

II.3.1.4. Yakıt sarfiyatına fazla havanın ve eksik havanın etkileri

Fırın içinde yakıtın tam yanması, yanma boşluğundaki yakıcı dizaynına ve yakma koşullarına bağlı bir spesifik minimum hava fazlalığı gerektirir. Hava fazlalığındaki her artış alev sıcaklığını düşürür ve atık gaz miktarını artırır. Bu durum, ısı transferini azaltır ve ısı kaybını arttırır. Hava fazlalığı azaltılarak yakıt ve maliyetler azaltılır. Hava fazlalığından ayrı olarak, içeri soğuk olarak alınan diğer herhangi hava, fırının yakıt verimi üze-

rinde zararlı etkiler yapar.Bu hava soğutma havası, istemeden girmiş bir hava veya ön ısıtma sisteminde bir sızıntıdan olabilir.İkincil öneme sahip olduğu için atık gaz sisteminin egzostundan olan hava önemsenmeyebilir.

Yakıtın yanması için ihtiyaç duyulan hava fazlalığı, fırın üst yüzeyi ve regeneratör kontrol sistemi arasındaki atık gazların ihtiva ettiği oksijenin ölçümü ile verilir. Bu, uygun duyar elemanların kullanımıyla kontrol edilebilir.Hava faktörü, sadece hava fazlalığına bağlı ısı kaybını vermez.Ayrıca ön ısıtılan hava miktarının bilinmesi ve değişen hava fazlalığı miktarının bu orandaki değişimi için de gereklidir .

Hava faktörü ilişkisinin tam belirlenmesi yakıt sarfiyatının korunması için mümkün, ön ısıtılan hava miktarı için analitik olarak imkansızdır.Regeneratör öyle dizayn edilir ki, atık gaz sıcaklığı 1440 C, 110 C giriş sıcaklığı, hava ön ısıtma sıcaklığı 1200 C olacaktır.Soğuk hava miktarı, yakıt sarfiyatı ile alakalıdır.Hava fazlalığındaki bir değişiklik veya % 1'lik ön ısıtılmış hava oranındaki artış, yakıt sarfiyatında % 0.5 kadar bir oynamaya yol açmaktadır.

II.3.2. Port ve Bek Dizaynı

Yakıt hava karışımı port tasarımına bağlıdır.Fırına verilecek yakıtın hava ile iyi karışması, portun genişliği boyunca yerleştirilecek memelerle sağlanır.Bu, pratikte imkansızdır.Portta önemli olan hava hızlarının dağılımı olup, bu dağılım gözleyiciler aracılığı ile tesbit edilerek port ve bek dizaynları geliştirilmiştir.Gaz ve sıvı yakıtların hava ile karışmaları farklıdır.Gaz yakıtlar, aynı maddelerde olmalarına rağmen hava ile daha zor karışırlar.

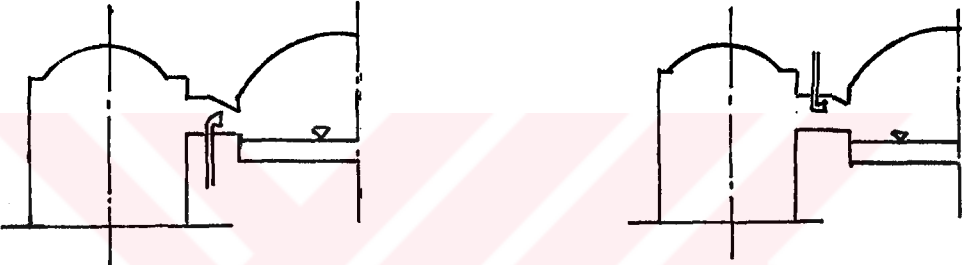
En yaygın uygulama, port altı bek tasarımıdır.Ancak en iyi sonuç veren ise, portun arkasından bekle yakıt püskürtmektir.Bu sistem ise,tasarımı bakımından zordur.

Doğal gaz kullanılıyorsa, en iyi karışım port yanlarından yakıt püskürtülerek elde edilir.İyi bir yanma için

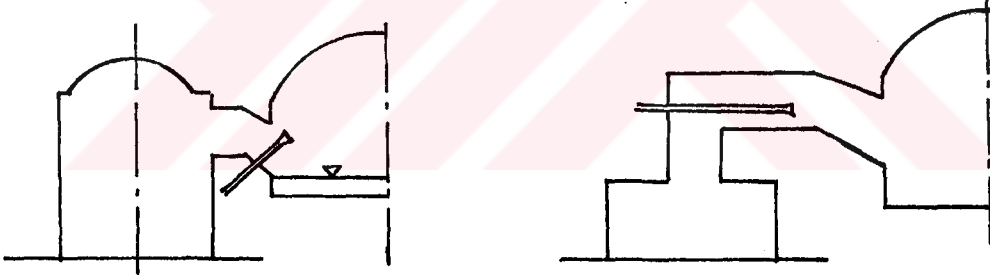
önemli olan diğerk bir konu, yakıt hava oranıdır.Bu oranın değışimi, alev boyunu etkiler.Cama olan ısı transferinin değışimine ve azalmasına yol açar.Alevin indirgen veya yükseltgen olmasına yol açar.İndirgen alev, camda habbeye yol açacaktır.

Şekil 13'te ise çeşitli bek yerleştirme tasarım grupları ve alternatifleri verilmiştir.

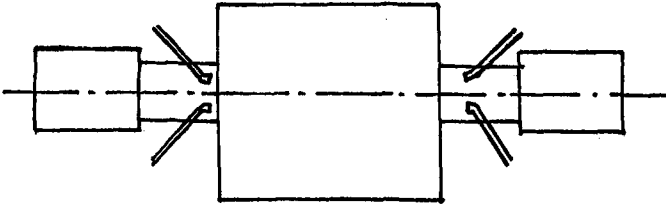
- Port tabanı bekle yakıt verme -Port kemerinden besleme



- Port altı bekle besleme -Port arkasından besleme



- Port yanlarından bekle yakıt besleme.



II.4. Elektrikli Fırınlar

Düz cam fırınları ile günde 1500 ton'a kadar, şişe fırınları ile de günde 500 ton'a kadar cam elde edilebilmektedir. Spesifik ısı ve yakıt sarfiyatları ise çekişle ters orantılı olarak değişmektedir. Düz cam fırınlarında 3000 kcal/kg.cam - 1200 kcal/kg.cam, şişe fırınlarında 1800-1000 kcal/kg.cam arasında enerji sarfiyatı vardır.

Elektrikli fırınlarda ise günde 100-150 ton arasında cam üretilebilmektedir. Elektrikli fırınlarda spesifik enerji sarfiyatı, ısı kayıplarının az olması, verilen ısı- nın büyük bir kısmının cama geçmesi dolayısı ile, 650-700 kcal/kg.cam arasında olmaktadır. Yani elektrikli fırınların enerji sarfiyatları diğer fırınlara nazaran daha az olmaktadır. Diğer yakıtların fiyat artışlarına nazaran elektrik fiyatlarının artışı daha az olduğu için, elektrikli fırınlar için avantaj arz etmektedir.

Elektrikli fırınların birim ısıtma yüzey alanı başına çekilen cam miktarı yüksek olduğu için yatırım maliyetleri düşüktür. Regeneratörler yoktur, buna karşılık elektrotlar, trafolar ve elektrot kontrol devreleri vardır.

II.4.1. Çalışma Prensipleri

Camın öz direnci sıcaklık yükseldikçe düşer. Elektrot üzerinden cama akım verildiğinde, camın sıcaklığı artar. Bu durumda camın öz direnci düşer. Camın akım iletme özellikleri ve sıcaklığı buna ters olarak artar. Elektrikli fırınlarda camın eritme sıcaklığının sabit kalması gerekmektedir. Bu yüzden sıcaklığın sabit tutulması işlemi, özel kontrol sistemleri ile sağlanır. Elektrikli eritme fırını 3 kısımdan oluşur.

1.Eritme, 2.Boğaz, 3.Dinlendirme.

Elektrikli fırınlarda eritme elemanları ve dolayısı ile en önemli kısım elektrotlardır. Bu elektrotlar, refrakterlere, iletme ve kimyasal kararlılık özelliklerine göre seçilmelidirler. Elektrot malzemeleri grafit (C), molibden (Mo), Wolfram (W), kalay oksit (SnO_2) gibi malzemelerdir. Grafit ucuz olup, cama değen yüzeylerinde hapse oluşumuna yol açar. Molibden kararlı ve geçirgendir. Ancak oksijenli

ortamlarda kararlılığı bozulur. Wolfram mukavim fakat pahalıdır. Kalay oksit ise aşınmaya dirençli, yarı iletken refrakter bir malzemedir.

Tabandan elektrotlu fırınlar: Elektrotlar tabana konursa fırına enerji verilince tabandan yüzeye doğru cam akımları oluşur. Fırındaki cam yüzeyi harmanla kaplı olup, harman alt yüzeyden eriyerek cama karışır. Bu şekilde yapılan eritmenin afinasyonu kötü ve zordur.

Yandan elektrotlu fırınlar: Yandan harman tabakasının altına konması halinde, harman tabakasının hemen altında yüksek sıcaklıklar oluşur ve erime başlar. Elektrotların altından tabana kadar olan kısımda ise afinasyon gerçekleşir. Tabana doğru olan cam akımlarının engellendiği için, yandan plaka şeklinde elektrot yerleştirilir.

Elektrot tipine göre kullanılan akım yoğunluğu da farklı olup, en uygun akım yoğunluğu $3A/cm^2$ civarındadır. kullanılan akım yoğunluğu arttıkça elektrotların aşınma hızı da artar. Plaka tipi elektrotlar ısıyı daha homojen dağıttığı gibi aşınma hızı da düşüktür. Ancak elektrotlar aşınarak düşerse, tamirlerinin ancak fırının durdurularak yapılabilmesi sakıncalı yönleridir.

Daldırma elektrotlar: Elektrotlar, harman üzerinden cam içine daldırılırsa, yeni bir fırın dizaynı ortaya çıkacaktır. Bu tipte elektrotların hava ile temasta olan kısımlarının iyi korunması gerekmektedir. Bu şekilde elektrot kullanımı yaygın bir metottur.

Genellikle elektrotlarda aşınma uç kısımlarından başlar ve giderek kısalırlar. Bu yüzden fırınlara uzun elektrotlar konur ve kısaldıkça içeri itilirler.

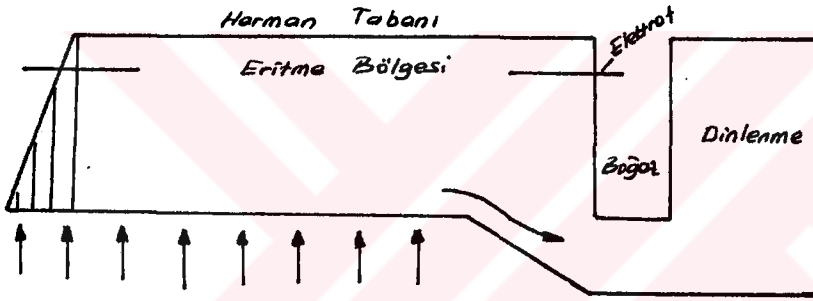
Elektrotların içine konduğu refrakterler, dayanıklı olmalıdır. Özellikle molibden elektrotlarda, molibdenin oksijenli ortamlarda kararsız olmasından dolayı, refrakter arasına soğutma suyu ile beraber azot ve hidrojen gibi indirgen bir gaz verilerek, oksijenle teması önlenmelidir. Elektrotun refrakter dışındaki kısmı kaplanarak, hava ile teması önlenmelidir. Metal olan molibden elektrotlar, cam bileşimindeki sülfatları indirgeyerek camda habbeye neden

olurlar. Molibden elektrotlu fırınlarda, sülfat miktarı az olan cam bileşimleri kullanılmazsa bu durum önlenmiş olur.

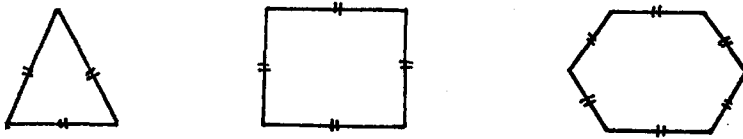
II.4.2. Bir Elektrikli Fırının Dizaynı

İdeal bir fırın olarak yüzeyi tamamen harmanla kaplı harman tabakasının hemen altına elektrotların yerleştirildiği, elektrotla fırın tabanı arasında aynasymun gerçekteştiği derin bir fırın düşünölebilir. Cama verilen enerjinin önemli bir kısmı yan duvarlardan kaybolur. Bunun için yan duvarlar kademeli olarak izole edilmelidir. Fırın tabanının sıcaklığını düşürmek için tabana kuvvetli bir şekilde hava üflenmelidir ve bu suretle soğutulmalıdır. laminar cam akımı sağlanırsa, cam kalitesi artacaktır.

Eritme alanı üçgen kare ve altıgen profil olabilir. Elektrotlar ise köşe veya kenarlara yerleştirilebilir.



Şekil 13. Bir elektrikli fırın şematik kesiti.



Şekil 14. Elektrotların yerleştirme tipleri.

II.4.3. Elektrikli Fırınlarda Enerji Dağılımı

Q_c = Yakıtın verdiği ısı

Q_a = Hava ön ısıtmasıyla fırına geri dönön ısı

Q_f = Yanma gazlarının götürdüğü ısı

Q_h = Cama iletilen ısı

$$Q_c + Q_a = Q_h + Q_f$$

$$Q_c = 0, Q_a = 0, Q_f = 0$$

ve dolayısı ile

$$Q_h = Q_1 + Q_w \text{ dir. } Q_1 = \text{Camın reaksiyon ısısı.}$$

Q_w = Duvar kayıpları.
Fırın verimi $= \frac{Q_1}{Q_h} = \% (90-95)$ arasındadır. (R.3)

II.4.4. Elektrikli Fırınlarda Verim

Elektrikli fırınlarda verim, % 90'dan büyüktür. Çünkü ısı, elektrotlarla doğrudan cama verilir. Fırın boyutları da küçük olacağı için duvar kayıpları az olacaktır. Boğazdan dolayı, geri dönüş akımları çok çok azdır.

Bunun yanında, yakıta takviye olarak elektriğin kullanıldığı fırınlar da vardır. Bu tür bir takviye, fırında cam akımlarını daha da dengeli hale getirir.

Fakat, takviye edilen enerjinin az olması, buna nazaran, verilecek elektrik enerjisinin daha fazla olması gerekmektedir. Çünkü küçük oranlardaki elektrik enerjisi uygulaması, fırın verimine ve cam akım dengelerine hiçbir katkıda bulunmaz.

II.5. Fırında Isı Transferi

Bir cam fırınının ısı dengesi aşağıda verilmiştir.

$$Q_c + Q_a + Q_e = Q_h + Q_f \quad \text{Buradaki ısılar:}$$

Q_c = Yakıtın verdiği ısı,

Q_a = Ön ısıtılan hava ile fırına geri dönen ısı,

Q_f = Yanma gazları ısısı,

Q_h = Eritme için gerekli ısı,

Q_e = Varsa elektrikle verilen ısı, ayrıca

$Q_h = Q_1 + Q_{BC} + Q_w$ olarak bilinmektedir.

Q_1 = Tatbik edilen ısı = $q_r + q_1 + q_d$

q_r = Reaksiyon ısısı,

q_1 = Camı ısıtma ısısı,

q_d = Dekompozisyon ısısı olarak bilinmektedir.

Q_w = Eritme ve afinyasyon bölgelerinden olan duvar kaybı.

Q_{BC} = Geri dönüş akımlarından kaynaklanan ısı kayıpları.

Düz cam fabrikalarındaki düz cam fırınlarında geri dönüş akımları kuvvetlidir. Şişe fırınlarında ise, boğaz iyi bir engel oluşturduğundan geri dönüş akımları az olur.

Baca gazlarından fırına taşınan ısı:

$Q_f = Q_a + Q_s$ olup, Q_s = Bacadan atmosfere atılan ısıdır.

Fırın Tipi	Q_M	Q_1	Q_{BC}	Q_w	Kapasite
Float	35500	16250	16250	8000	600 ton/gün
Şişe	2825	975	400	1450	120 ton/gün
Elektrikli	11925	8125	1300	2500	30 ton/gün

II.5.1. Camı Isıtma ısısı (q_1)

Bu ısı yaklaşık 450 kcal/kg.cam olup, fırını 1500 C de terk eden erimiş camın beraberinde götürdüğü enerjidir. Cam sıcaklığı, 50 C düşürülürse, ısı kazanç oranı 50/1500 =0.03 oranında artar.Sıcaklığın 50 C düşürülmesi halinde, afinyasyon ve erime hızları düşecektir. Bu yüzden duvar boyunu uzatmak gerekir ki bu durumda duvar kayıpları ve refrakter maliyeti de artacaktır.

Harman ön ısıtılarak, camın ısıtma ısısı azaltılabilir.Bu işlemin verimi 0.9 civarındadır, ancak ön ısıtma sırasında harmandan Na_2CO_3 uçacağı için, sıcaklığın 750 C nin üzerine çıkması imkansız hale gelir.Bu yüzden fırında bir ön eritme bölgesi kullanılarak 1300 C'ye kadar ısıtmak ve afinyasyon süresini azaltmak mümkündür.Bu ise ilave bir donatım gerektireceğinden fazla bir fayda sağlanamaz.

II.5.2. Reaksiyon ısısı (q_r)

Reaksiyon ısısı yaklaşık 150 kcal/kg.cam'dır.Harman nemini almak için verilen dekompozisyon ısısından harici olarak, harmandaki kırık cam oranı azaltılırsa bu ısı da düşecektir.

II.5.3. Dekompozisyon ısısı (q_d)

Bu ısı, yaklaşık 150 kcal/kg.cam'dır.Harman nemini almak için verilir.Bu ısıyı, harmandaki karbonatlar yerine hidroksitleri koyarak, böylece rutubet oranını düşürerek azaltmak mümkündür.

Sonuçta bu üç ısıнын toplamı olan Q_1 'yi azaltmak büyük ölçüde sağlanmış olacaktır.

II.5.4. Geri Dönüş Akımları (Q_{BC})

Düz cam fırınlarında, boyun, boğaz ve birtakım engel-

lerle bu ısı miktarı azaltılabilir. Böylece erimiş cam yüksek sıcaklık bölgelerinde daha uzun süre kalacaktır. Sonuçta eritme sıcaklığı düşürülebilir, veya aynı sıcaklıkta çekiş % 20 oranında arttırılabilir. Daha önce de açıklandığı üzere, şişe fırınlarında boğazdan dolayı geri dönüş akımları çok azdır. Ancak bu fırınlarda boğazın iyi soğutulması gerekir. Aksi halde, boğaz açılabilir, genişleyebilir ve böylece geri dönüş akımları oluşur.

II.5.5. Duvar Kayıpları (Q_w)

Bir fırında, duvar kayıpları fırının uzunluğuna, refrakterlerin cins ve kalınlıklarına, izolasyona ve cam kalitesine bağlıdır. Cam kalitesini arttırmak için camın fırında daha uzun bir süre kalmasını sağlamak ve dolayısı ile fırın boyunu uzatmak gerekir. Fakat bu durumda duvar kayıpları artacaktır.

Aynı miktarda cam üreten düz cam fırını boyutlarının şişe fırınına göre daha büyük olması gerekir. Düz camda yaklaşık 10 hata/ton.cam, şişe camında ise yaklaşık 1000 hata/ton.cam'a kadar izin verilebilmesi bunu gerektirir. Bir şişe fırınının duvar kayıpları, aynı kapasitedeki bir düz cam fırınının duvar kayıplarının % 70'i kadardır.

II.5.6. Sıcaklık Dağılımı

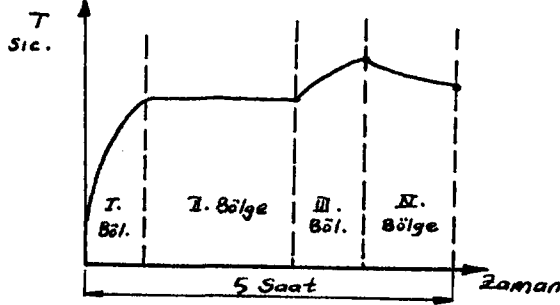
Bir tank fırını, öncelikle bir proses ekipmanı parçası olup, ikincil olarak, sadece özel maddelerin eritilmesi için kullanılan bir fırındır. Burada fırın öyle dizayn edilmeli ki, cam üretiminin her bir aşaması kendileri için belirlenmiş kısımda yer alırlar ve birbirlerini ard arda takip ederler.

Burada belli başlı bazı bölgeler vardır. 1. Ön ısıtma, 2. Eritme ve reaksiyon, 3. Afinasyon, 4. Çalışma ve şartlandırma bölgesi.

1400-1550 C bazen iyi homojenizasyon ve afinasyon için gerekli iken, 1000-1300 C sıcaklıkları eritme ve harman maddeleri reaksiyonları için yeterlidir.

1. Bölgede genelde çevre sıcaklığında verilen harman, üst taraftan gelen alev ısıtmasıyla ve alttaki erimiş cam

banyosu ısısı ile karşı karşıyadır. 0.12-0.23 W/mK gibi bir düşük termal kondüktivite vardır. Ancak, harmanda sıcaklık gradientinin çok yükselmesine yol açar. Özellikle harman yüzeyinde aşırı ısınmaya rağmen, ilk eriyiğin harmana akması veya harmanı 2. bölgeye itmesinden dolayı, harman eritme sıcaklığına erişildiğinde sıcaklık artışı durur ve sabit kalır.



Şekil 15. Bölgelerde Sıcaklık Dağılımı.....(R.3)

II.5.7. Isı Akım Yoğunluğu

Fırınların yakma sistemlerinde birkaç parametre kullanılır. Yanma boşluğu yükleme, eritme alanı boşluğu ve ısı akım yoğunluğu. Yanma boşluğu yükleme, yanma boşluğu hacmi başına verilen yakıtın verdiği enerji olarak tanımlanmaktadır. Isıtma alanı yükleme, eritme yüzey alanı başına verilen enerji olarak tanımlanır. Aşağıda verilen listede, bu değerleri cam fırınları ve boilerlerle karşılaştırmalı olarak vermektedir. Görüldüğü gibi cam fırınları yüksek çalışma sıcaklıklarına rağmen lider konumda değil.

Bir alevli fırın yüzeyi ile cam yüzeyi arasındaki ısı akım yoğunluğu fırın yerine göre büyük çeşitlilik gösterir ve alev dağılımı ile cam yüzeyinin özelliklerine bağlıdır.

Yüksek sıcaklıklar kullanılmasından dolayı ısı transferi gerçekte % 95 radyasyon, geri kalanı konveksiyonla olur. Yüzey sıcaklıkları yer yer farklı olduğundan ısı akım yoğunluğu ısı transfer mekanizması olarak uygun değildir ve sıcaklık farklılıkları bu yüzden yaklaşık olarak verilebilir.

Alev geçmeli fırınlarda yakıt dağılımı öyle ayarlanır ki alev bölgesinde cam yüzeyi temiz olup, optimum durum, cam yüzeyi 1/3 harmanla, 1/3 köpüklerle kaplı, 1/3 temizdir.

Bölgedeki harman için kullanılan yakıt oranları artan çekişle büyür. Isı akım yoğunluğu, fırın uzunluğu boyunca, sadece havuzun uzunluk-genişlik oranları ve alev boyu ile değişir. Fırın çalışırken sadece alev boyunu ayarlamak mümkündür ve çekiş farklarının büyük olduğu durumlarda optimum sonuçları elde etmeyi güçleştirir.

	Yanma hacmi(kw/m ³)	Isıtma yüzeyi
		
Cam fırınlarında	60-160	90-200x10 ³
Siemens Martin fırınında	120-350	290-470x10 ³
Büyük su borulu boilerde	580-1520	- (W/m ²)

II.5.8. Erimiş Camın Teorik Isı İhtiyacı

Bir referans parametresi olarak, cama transfer edilen enerji miktarının açıklanmasında farklı öneriler kullanılır. Bu konuda literatür, yararlı ısı veya daha iyisi teorik enerji ihtiyacı kavramını kullanıyor.

Sıcaklıklar, açık fırınlar için güçlükle belirlenebildiğinden ve tanımlaması güç olduğundan, durumdan duruma çeşitlilik göstermesine rağmen, farklar genelde önemsizdir.

Teorik enerji ihtiyacı yüzdelik olarak ifade edilir ve sık sık cam fırınının termal verimi olarak açıklanır. Ancak, verim bir limit göstermemektedir.

Erimiş camın ve harman gazlarının entalpilerinin belirlenmesi teoride mümkün, fakat pratikte değildir. Farklı camların teorik enerji ihtiyacı harman formülasyonuna ve pratikte değişen oranların en iyisinin kullanılmasına bağlıdır.

II.5.9. Isı Sarfıyatı

Deneyssel olarak, cam fırınlarının ısı sarfıyatı yaklaşık $\dot{q} = \dot{q}_a + s.b$ ile verilebilir.....(R.3).

$\dot{q}$ (W/m²) birim zaman ve eritme alanı başına ısı arzı

s (kgcam/m²d) Eritme oranı: Birim alan başına çekiş.

$\dot{q}_a$ ve b miktarı genelde sabittir, ve fırın operasyon parametreleri ile dizayna bağlıdır. $\dot{q}_a$, fırının ısı kayıplarını, fırın boşken ısı sarfıyatından ve çekişten bağımsız olarak içerir. Fiziksel bir büyüklükten ziyade, hesap-

lamaya yönelik bir parametredir.

b terimi, fırındaki enerji transferi verimine bağlıdır. Isı transferi veya ısı değiştirici verimindeki hiçbir gelişme, b değerini düşüremez. b'nin küçük değerleri s'ten bağımsızdır. Çünkü genelde ısı transferi prosesi ve ısı değiştirici verimi çekişin artmasıyla kötüleşir.

Yeni ve iyi izole edilmiş bir konteyner cam fırını için, $q_a = 2000 \text{ Mj/m}^2$ ve $b = 4 \text{ Mj/kg.cam}$, spesifik yakıt sarfıyatı, q/s (kj/kg.cam) ise sık sık s'karşı verilir. $s(q/s - b) = q_a$ 'dır.

Genelde çikeşin artmasıyla spesifik yakıt sarfıyatı düşer. Tekrar artmadan önce bir minimumdan geçer. Eğer çekiş minimumun altından artışa geçirilebilirse, fırının termal verimi artar. Bu, geliştirilmesi mümkün olan bir olaydır. Ayrıca, minimum noktasına ulaşılamazsa diğer teknik faktörler geliştirilmelidir.

II.5.10. Isı Balansları

Cam ergitme fırınlarının enerji sarfıyatı ile ilgili bir araştırmada, dizaynı geliştirmek, operasyon metodunu geliştirmek, ve karşılaştırma yapmak için, yararlı bilgiler elde edilebilecek birçok uygulama vardır.

Bir balansın dizaynı, üzerinde çalışılan sistemle çevresi arasında oluşturulacak, açık bir akıma ihtiyaç duyar. Bu balans çizildiğinde, bir balans için bütün enerji akımları paralel değerlere sahip olmalıdır. Örneğin yüzey ısı kayıpları tamamen ele alınırsa, çalışma çıkışı ve eritme kayıplarını da içermelidir. Çalışma çıkışından olan kayıplar, eritmeden ayrı bir kayıp olmadığı için teknik olarak kayıp değildir. Özellikle yüksek çekişli fırınlarda, bu temele bağlı, normal şartlarda gerçekleşmeyecek bir ısı balansı kurulmuştur. Düz cam üretiminde kullanılan fırınlarda olduğu gibi, eritme ve şartlandırma bölgelerinin ayrılmasında mevcut problemler vardır.

II.5.10.1. Isı Balanslarının Kurulmasında Kullanılan Bağıntılar

Yakıt ve termal enerjinin teşkil ettiği kimyasal ka-

rışında içerilen enerjinin hesabı için termodinamiğın 1. kanunu kullanılır. Enerjinin diğır durumları ikincil önemde olduğu için önemsenmez.

Yakıttaki kimyasal enerji $Q_c = H_u M$ bağıntısıyla belirlenir. H_u yakıtın net kalori değeri ve M yakıt akımının kütlesidir.

Fırın içindeki, ana entalpiler diye adlandırılan özellikle hava, gazlar, atık gazlar, erimiş cam gibi çeşitli entalpiler bilinen bir bağıntıdan hesaplanır.

$$H = C_p \cdot T \cdot \dot{M}$$

C_p = Spesifik ısı, T = Sıcaklık (C).....(R.3).

Elektrik destekli tankların enerjileri, elektrik akımına bağılıdır. Diğır önemli ısı akımları, konveksiyon yoluyla fırın duvarlarından olan ısı kayıplarıdır.

$$Q_1 = \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

λ = Termal kondüktivite, $\frac{dT}{dx}$ = Bölgesel sıcaklık grad.

ve A = Alan.

Radyasyonla yayılan ısınnn açılımı:

$$Q_R = C_s \times A \times \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) \dots\dots(R.3).$$

C_s = Siyah cisim radyasyonu; $5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$ tür.

II.5.10.1.1. Referans Konuları

Bir ısı balansı kurulurken, çeşitli enerji akımları, özellikle termal enerji uygun bir şekilde açıklanmalıdır.

a. Yüzdelik olarak giren ısınnn açıklanması: Genellikle fırın içine birim zamanda giren ısı referans parametresi olarak alınır ve yüzde yüz eşitlenir. Bu, normalde yanma havasının, yakıtın ve harmanın entalpisini içerir.

Bu enerjiler, yakıt tarafından verilen kimyasal enerjinin % 0.5-3 kadarı olduğu için, entalpiler fırın operasyonunda ana öneme sahip olmadığı için, genelde sadece yakıt tarafından verilen kimyasal enerji referans değeri olarak alınır.

Data olarak, harman, gaz, hava entalpileri alınması-

zın yakıt enerjisinin seçimi avantajlıdır.Çünkü, normal yakıtlardan elde edilen enerji tam olarak belirlenebilir. Bununla birlikte bu yolla kurulan ısı balansı, enerjinin fırın dizaynına bağlı kısımlarına dağılımına imkan verir.

Farklı fırınların belirli koşullar altında karşılaştırılması bir dezavantajdır.Örneğin iki tip fırın varsa fırınların belli bölgelerinde farklı yakıt sarfiyatı, aynı miktar ısı transferi farklı verilmiş olacaktır.Eğer iki fırın tipi karşılaştırılırsa, ikisinin arasındaki farklar farklı yakıt sarfiyatı veya ısı kaybından olup olmadığına karar verilemez.Yüzdelik olarak verilen ısı balansları, bu yüzden, kesin değildir.

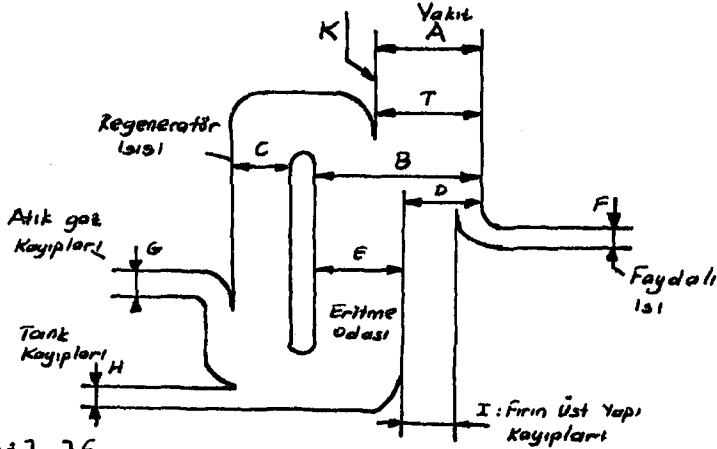
b. Yüzdelik olarak camdaki faydalı ısı: Faydalı ısı olarak bilinen, erime prosesinin sonucu olarak camın entalpisi, % 100 olarak kabul edilebilir.Faydalı ısı, Çalışma prosesinin bir sonucundan çok fırın dizaynına bağlıdır.Ayrıca camın faydalı ısısının tam olarak belirlenmesi hemen hemen imkansızdır.

Isı balansında, üretilen camın ağırlığına göre hesap yapılması, yüzdelik olarak ele alınmaması daha akıllıcadır.Böylece erimiş cam için gerekli ısı ihtiyacı net olarak ortaya çıkar.Böylece farklı fırınlar arası karşılaştırmalar, yüzdeliklere bağlı balanslardan daha kolayca yapılır.Faydalı ısının belirlenmesindeki güçlük ortadan kalkar ve diğer ısıların etkisi atık ısıyla ilgili kabul edilebilir, hesaba katılmayabilir.

Modern konteyner cam fırınlarının ısı balansları bir Alman kaynağında yayınlanmıştır.Bu kaynakta, tüketilen ısı referans olarak seçilmiş, ve 1 kg cama verilmesi gereken ısı miktarı yüzdelikle verilmiştir.

II.5.10.2. Birden Fazla Akımın Balansları

Eğer tek akımlı bir ısı balansı, ihtiyaç duyulan sonuçları tam olarak vermezse, çok akım balansı kurmak akıllıcadır.Çok akım dengeleri aşağıda verdiğimiz "sankey" diagramları denen diagramlarda net olarak verilmiştir.Bu tür ısı balansı alışılacelmış değildir ancak, çok avantajı olduğu için kullanılmaktadır.



Şekil 16.

Yukarıdaki şekilde, ısı balansının tipine göre, verilen değerlerin miktarları aşağıda tablo halinde görülmektedir.

Yakıt enerjisinin yüzdeliği olarak ısı balansı

A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	T	
94.5	155	55	72.8	82.2	25.6	21.3	6.1	47.2	5.5	100	F.1
100	148	48	64.4	83.5	18.8	20	16	45.1	-	100	F.2

Faydalı ısının miktarı olarak ısı balansı

369	605	215	284	321	100	83.2	23.8	184	21	390	F.1
530	784	254	342	442	100	106	82	242	-	530	F.2

Cama verilen enerji oranlarına göre ısı balansı. Fırın 1. için 51.3 ton.cam/gün, fırın 2. için 61.2 ton.cam/gün. Enerji birimi ise kj/kg.cam olarak ele alındı.

7870	12850	4520	6026	6820	2096	1770	506	3930	441	8310	
11300	16740	5440	7274	9466	2126	2260	1850	5148	-	11300	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	T	

II.6. Fırınlarda Termal İzolasyon

Termal enerji sarfiyatı, fırının iyi izole edilmesinin sağlanmasıyla azaltılabilir. Fırın üst yüzeyinin karşı karşıya olduğu sıcaklık limitlerinden dolayı termal izolasyon koşulları ve sakıncaları vardır. Ancak, fırın operasyonları, daha iyi refrakterler ve dizayndaki gelişmeler, izolasyonu mümkün mertebe geliştirmiştir.

Kısaca, fazla izolasyon daha fazla riske yol açar. Kritik koşullarda çalışırken, refrakterlerin gözlenmesi yete-

neği çok sınırlıdır. Bu, ayrıca, hızlı kötüleşen durumların anlaşılmasına yol açar. Örneğin camdaki koşullar, kusurlara yol açıyorsa veya kemer çökerse bu durumlar gözlenemez. Baştan başa izolasyon fırın izolasyonunu ve sağlam ısı kontrolünü kabul eder. İzolasyonun neticeleri tamamen hesaplanmadan izolasyona başlanmamalıdır. Bütün izolasyon sıcaklıkları hesaplanmalı ve özel malzemeler seçilmelidir.

Fırının bütün bölümleri izole edilemez. Fırının tank boğazı izole edilemez ve bir çalışma periyodundan sonra veya başlangıçtan hemen sonra fırın ömrünü uzatmak için soğutulmalıdır. Akım doğrultusundaki ve boğaz kaplamasındaki sıcaklıklar o kadar büyüktür ki fırının böyle kısımları bölgesel soğutmaya tabidir.

Belirli fırın kısımlarında ve belirli çalışma koşulları altında izolasyondan kaçınılmalı veya operasyon amacına göre sınırlandırılmalıdır. Afinyondan sonra, cam sıcaklığı, çalışma, koşullar ve özellikle çekiş için mümkün olduğunca çabuk düşürülmelidir.

Düzcamlar fırınları çalışma bölgesi, gerekli sıcaklık inmelerine ulaşmak için, radyasyonla ısı kaybına izin veren açılmalarla donatılmış olmalıdır. Ayrıca konteyner cam fırını operasyonunda çalışma bölgesi izole edilmeli ve ilave ısıyla takviye edilmelidir.

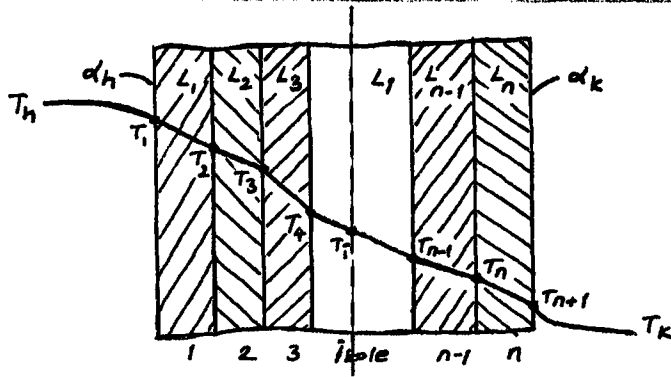
Günümüz tank ve potalı fırınları özel koşullar ihtiva ederler çünkü, aşırı izolasyon bu fırınların periyodik operasyonlarını güçleştirir.

Bu koşullar altında izolasyon hazırlıkları dikkatle hesaplanmış olmalıdır.

II.6.1. İzolasyon Hesapları

Cam fırınları kompleks bir yapıdır. Bu durum izolasyon için dizayn hesaplarını güçleştirir.

Yüksek yüzey sıcaklığına sahip birkaç dizi içeren bir düz duvar için T_h ve bir çevre sıcaklığı olarak T_k , stabil şartlardaki sıcaklık gradienti ve n adet dizi için aşağıda gösterildiği gibidir. Isı akısı q 'dür.



$$q = \frac{T_h - T_k}{\frac{1}{\alpha_h} + \frac{1}{\alpha_k} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n}} \quad \dots\dots\dots (R.8).$$

α_h ve α_k : Soğuk ve sıcak yüzeyler için ısı geçirme katsayısı, L = Kalınlık, λ = Her bir dizi için termal kondüktivitedir.

$$T_h - T_1 = \frac{q}{\alpha_h}$$

$$T_1 - T_2 = \frac{L_1}{\lambda_1} \cdot q$$

$$T_2 - T_3 = \frac{L_2}{\lambda_2} \cdot q$$

$$T_i - T_{i+1} = \frac{L_i}{\lambda_i} \cdot q, \text{ ve buradan,}$$

$$T_i = T_h - (T_h - T_k) \frac{\frac{1}{\alpha_h} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{L_{i-1}}{\lambda_{i-1}}}{\frac{1}{\alpha_h} + \frac{1}{\alpha_k} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n}} \quad \dots\dots\dots (R.8).$$

Yukarıdaki eşitlikler, yüzeylerarası ideal termal teması verir. Isı transfer katsayıları α_h ve α_k , özel hesaplamalar için başvurulacak bir kavramdır.

Yüksek sıcaklıklardan dolayı α_h birçok kez α_k 'den büyüktür, ve sonuç olarak q üzerinde bir etki olup, T_i küçüktür. Tank duvarlarında bazı kaynaklar $\alpha_h = 232 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerini kullanır. Akım doğrultusu bölgesi için $815 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerini verir.

α_h , tank duvarları için özellikle cam miktarı ve tipine bağlıdır. Üst yüzey için bu değer $500-1000 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınabilir.

Karşılaştırma yapılırsa α_k, α_h tan çok küçüktür, ve sıcaklık dağılımı ile duvarlardaki ısı akım yoğunluğu üzerinde daha kararlı etkileri vardır.

konveksiyon için laminar veya türbülanslı akımlara göre aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$Nu = 0.517.(Gr.Pr)^{0.25} \dots\dots\dots (R.8).$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad \text{ve } \alpha = \alpha_{\text{konv.}} \quad l = \text{Duvar yüksekliği.}$$

$$\lambda \Rightarrow T = \frac{(T_{n+1} + T_k)}{2} \quad \text{sıcaklığındaki havanın termal kondüktivitesi.}$$

$$Gr = \frac{g \cdot h \cdot l^2 (\rho_o - \rho_o)}{\rho_o \cdot \eta^2}$$

g = Yerçekim ivmesi.

h = Duvar genişliği

$\rho_o = T_{n+1}$ sıcaklığındaki havanın yoğunluğu.

$\eta = T$ sıcaklığındaki havanın kinematik viskozitesi.

$$Pr = \frac{\eta}{\alpha} \Rightarrow 0.67 \text{ kabul edilebilir} \dots\dots\dots (R.3).$$

II.6.2. Belirli Kısımların İzolasyonu

2.a. Kemer İzolasyonu

Kemer, izolasyon için ilk ele alınacak bölgedir. İç kemer sıcaklığının max. 1650 C olması durumunda bu bölgede izolasyon uygulanabilir. Genelde izolasyon tabaka üzerine tabaka konarak yapılır.

Büyük fırınlarda kemerin geniş olması yüzünden statik denge ile birlikte , yine statik dengeden dolayı izolasyon malzemesinin hafif olmasının önemi artmaktadır. Küçük fırınların izolasyonu daha kolaydır.

2.b. Üst Yapı İzolasyonu

Bu bölgenin izolasyonunda da denge önem kazanmaktadır. Alev zaman zaman üst yapı refrakterlerini yaladığı için, sıcaklıklar yükselebilir. Gereğinden fazla izolasyon yapılması halinde sıcaklıklar çok yükselerek refrakterleri aşındırır. Böylece camda düşme ve damar hataları oluşabilir.

Silika-alümina veya mullit gibi izolasyonlar veya bazı portatif izolasyon malzemeleri kullanılabilir.

2.c. Yan Blok İzolasyonu

Yan bloklar, cam seviyesinde mutlaka soğutulmalıdır. Bu yüzden izolasyon cam seviyesinde olmamalıdır. Yan blokların kademeli olarak izolasyonu aşınmayı önleyecektir.

2.d. Taban İzolasyonu

Genelde, taban izolasyonunda önce bir döşeme ve sonra izolasyon uygulanır. Isı kayıplarını önlemek için taban izolasyonu kalınlıkları gittikçe arttırılmalıdır.

Bu arada tabana uygulanan termokupl'larla taban refrakterlerinin sıcaklığı izlenmelidir.

Fırında izolasyonun en kolay yapıldığı kısım tabandır. Fırın tabanı yüksek termal kondüktivitesi olan bloklardan oluşur. Bunun altında Al-Si (mullit) bileşimindeki bir refrakter ve en dış kısımda izolasyon refrakterleri vardır.

Önemli olan, fırın tabanındaki refrakterlerin dayanaabilecekleri sıcaklıklar tesbit edilmeli ve buna göre izole edilerek korunmalarıdır. Refrakterlerin birbirlerine göre kalınlıkları önemlidir. Refrakterlerin 1-1.2 m'lik cam hidrolik basıncına dayanması gerekir.

II.7. Tank Bloklarının Soğutulması

Tank bloklarının kaplaması çok eğridir, akım doğrultusunda ve boğazda sıcaklık artışı en güçlü durumdadır ve bu kısımların vaktinden önce bozulması soğutma ile önlenir. Soğutma uygun bir şekilde yapılırsa, sıcaklık artışı redüksiyonu yapılmış olur ve böylece, termal korozyon oranının redüksiyonu sağlanır. Erime bloklarının korozyon oranları da 1400 C'nin üzerinde şiddetle artar.

II.7.1. Soğutma Etkisi

Pratikte, soğutma olayına, blok dışındaki ısı transfer katsayısının yükselmesiyle ulaşılır. İzole edilmemiş bir yüzey için ısı akısı,

$$q = \frac{T_h - T_k}{\frac{1}{\alpha_h} + \frac{1}{\alpha_k} + \frac{L_1}{\lambda_1}} \quad \text{olarak biliniyor. (R.8).}$$

Hatırlanacağı gibi α_h birçok kez α_k 'tan büyüktür ve $T_1 = T_h$ tır.

$$T_1 \cong q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_k} + \frac{L_1}{\lambda_1} \right) + T_k$$

Erime blokları için, 200-300 mm kalınlıkta L_1/λ_1 , birkaç kez $1/\alpha_k$ 'dan büyüktür. Bunun anlamı, α_k yoluyla olan bir sıcaklık redüksiyonunun sınırlı bir büyüklüğe kadar olmasıdır. Ölçümler bu redüksiyonun sadece 10 C civarında olduğunu göstermektedir. Duvar kalınlığı 100 mm ve daha altına indirilirse soğutma etkisine dikkat edilmelidir.

Tank bloklarının korozyonu sadece sıcaklığın değil, duvar yakınından akan camın da fonksiyonudur. Bu akımlar asıl olarak konvektiftir ve duvarların soğutulması ile desteklenir. Soğutma ile sıcak yüzey sıcaklığının redüksiyonu sağlanır, ve konveksiyon akımlarında blokların korozyonunda soğutmanın önemi artar. Tank bloklarının korozyon oranı sabit değildir ve duvar kalınlığının 100 mm'nin altına indirilmesiyle artar.

Konveksiyon akımları boğazda soğutmadan etkilenmediği için bu hesaplar boğaz için geçersizdir.

II.7.2. Soğutma sisteminin Dizaynı

Genellikle soğutma hava ile yapılır. Hava bloklara karşı aksın diye, esas hava soğutmalı sistemde, nozül bağlantılı bir hava verme sistemi akım doğrultu yüksekliğine eritme sonunun yan tarafları boyunca estirilir.

Böyle bir sistemle ulaşılabacak ısı transfer katsayısı çeşitli büyüklükte olabilir. Tank bloklarına karşı dik açı ile estirilecek hava ile optimum soğutmaya erişilir, ancak bu, yüksek basınç kayıplarına yol açar. Soğutma sırasında fırın içine hava verilmemelidir. Çünkü böyle bir durumda yanma olumsuz etkilenir. Düz duvarlar üzerinde ısı transferi bazı boyutsuz sayılarla hesaplanabilir.

$$Nu_{lam} = 0.664 \cdot Re^{3/2} \cdot Pr^{0.5}$$

$$Nu = \frac{0.037 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr}{1 + 2.443 \cdot Re^{-1} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \dots \dots \dots (R.3)$$

Prandtl sayısına karşılık gelen $Nu = f(Re, Pr)$ bulunur.

Hava için $Pr = 0.7$ 'dir. Nozuldan çıkış akış hızı 30 m/s , hava soğutmasıyla erişilen ısı transfer katsayısı $200 \text{ W/m}^2\text{K}$ dir. İhtiyaç duyulan soğutma havası miktarı, nozülün önünde $0.005-0.01 \text{ bar}$ basınçtaki $0.3-0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. havadır. Hava soğutmasını sağlayan fanın gücü tank bloğunun her metresi için 0.6 kw .`tır.

Akım doğrultusunda, duvar kalınlığı 150 mm 'nin altına inerse mutlaka soğutulmalıdır. Bloğun çatlamasını önlemek için hava yavaşça verilmelidir. Boğaz bölgesinde ise güçlü bir soğutma ile başlanabilir.

Su soğutması ise daha az enerji sarfiyatı ve az koku yapmasına rağmen yatırım maliyeti yüksektir. Sadece belirli koşullar ve yerlerde yapılmalıdır ve hava soğutması kadar efektif değildir. Blokların direkt suyla teması efektif- tir ancak, refrakterler çatlayabilir. Soğutulurken aşağı inen su zarar verebilir. Ancak bütün koşullara rağmen sertliği giderilmiş su kullanılabilir, ve bu uygun ise resirküle bir sistem ile donatılmalıdır.

Sistemler başarısız ise soğutma uygulanmamalıdır. Kontrol sistemleri ise başarısızlığı hemen tesbit edebilmelidir.

Hesaplanan güç yetersiz kalırsa, tank bloklarının soğutulmasında ilave bir elektrik generatörün yerleştirilmesi gerekecektir.

II.8. Fırın Otomatik Kontrolü

Otomatik kontrol, bir sistemde bir veya birden fazla parametrenin ölçülmesi ve bu ölçülen parametrenin arzu edilen bir değerde, amaca uygun bir şekilde sabit tutulmasını sağlamaktır. Ölçülen değer set değerinden uzaklaştıkça, set değerine yaklaştırılacak şekilde regüle edilir. Şekil 17'de böyle bir sistem görülmektedir.

Burada sıcaklığın kontrolü elle (manuel) veya otomatik olarak yapılabilir. Elle kontrolde operatör belirli aralıklarla sıcaklığı okur. Sıcaklık beklenen değer altında ise veya üstünde ise gerekli ayarlamayı yapar. Elle kontrol, kritik olmayan uygulamalarda sıkça yapılır. Eğer fı-

c. Seçilen kontrol cihazının iyi ayarlanması.

II.8.1. Kontrol Çeşitleri

II.8.1.a. Açık Kapalı (on-off) Kontrol

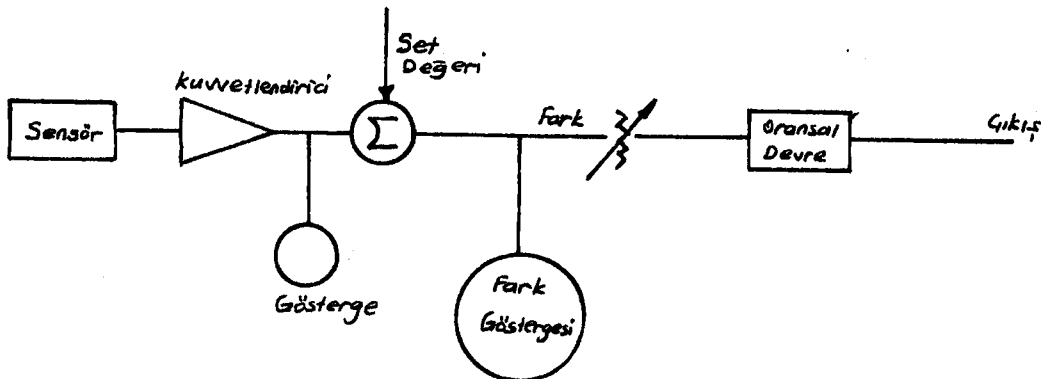
Açık kapalı kontrol sistemi, cihazı set değeri üstünde veya altında ayar değişkenini açar veya kapatır. Kontrol cihazının çıkışı ya tamamen açık ya da tamamen kapalıdır. Ayar değişkeni elektrik enerjisi olan bir sistemde, kontrol cihazı set değerinin altında elektrik enerjisini sisteme tamamen verir. Set değerinin altında ise tamamen keser.

Bu kontrolde, kontrol altında tutulan değişken, yani sıcaklık sürekli salınım halindedir. Set değerinin etrafında yapılan bu salınımda, önemli olan sıcaklık farkının minimum olmasıdır.

II.8.1.b. Proportional Kontrol (P Kontrol)

Sensör yardımıyla alınan sıcaklık sinyali, ortam sıcaklık dengelenmesi yapıldıktan sonra kuvvetlendirici bir devreden geçerek set değeri ile karşılaştırılır. İkisi arasındaki fark alınarak hata değeri veya fark değeri bulunur. Bu değer (+) ise fırın set değerinin üzerindedir. (-) ise altındadır. (=) ise fırın set değerindedir.

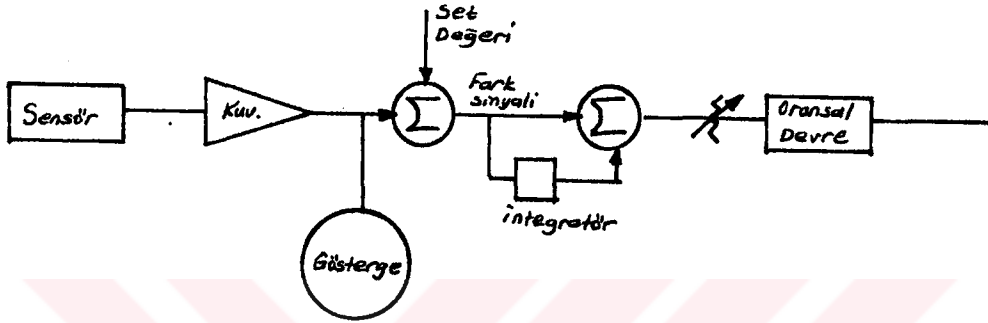
Fark değeri sıfır ise oransal çıkış % 50'dir. Bu % 50'lik değeri korumak zordur. Set değeri ile sıcaklığın sabit kaldığı değer arasındaki farka off-set denir. Bu değeri küçültmek için oransal bant küçültülebilir. Ancak bu taktirde açık-kapalı kontrole yaklaşılar. Bu yüzden en uygun oransal bant seçilir.



Şekil 19. Proportional Kontrol.

II.8.1.c. Proportional + Integral Kontrol (PI Kontrol)

Oransal kontrolde oluşan off-set elle veya otomatik olarak kaldırılabilir. Bunun için kontrol vihazi elektronik integratör devresi kullanılır. Ölçülen ve set edilen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu değer, fark değeri ile toplanır ve oransal bant kaydırılmış olur. Böylece sisteme verilen sıcaklık değeri ayarlanabilir ve fırın sıcaklığı set değerine oturtulur.



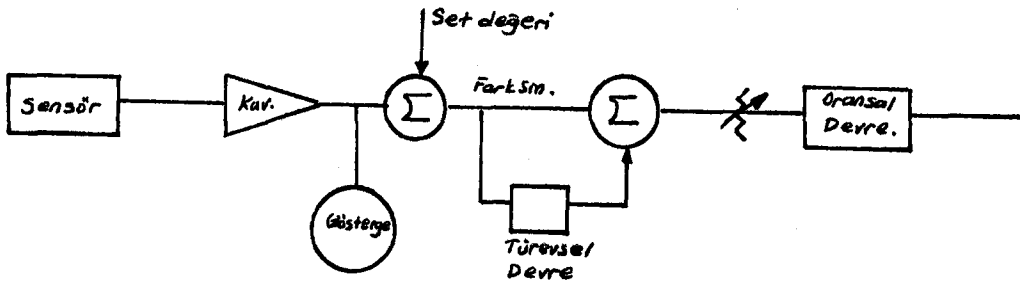
Şekil 20. PI Kontrol.

II.8.1.d. Proportional + Diferansiel Kontrol (PD Kontrol)

Oransal kontrolde oluşan off-set, bu kontrol ile kaldırılabilir. Sıcaklık değişimlerinin hızlı olduğu fırınlarda oransal bandı aşağı veya yukarı kaldırmak için türevsel etkiden yararlanılabilir. Kaydırma hızı sıcaklığın değişim hızına orantılı olarak değişir.

PD kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyali elektronik türev devresine gider. Türevi alınan fark sinyali tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılır.

Türevsel etki oransal bant içine girmeden başladığı için, düzeltici etki hemen başlar.

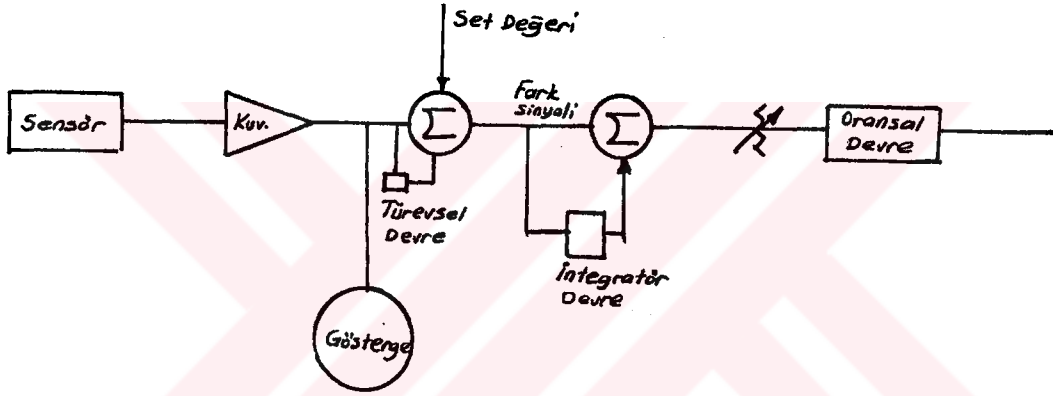


Şekil 21. PD Kontrol.

II.8.1.e. Proportional + Integral + Diferansiel Kontrol

Daha önce saydığımız kontrol sistemlerinin yeterli olmadığı durumlarda PID kontrol kullanılır. Oransal kontrolde off-set oransal integral kontrolle giderilir. Ancak, oluşan aşımalar, bu kontrole diferansiel kontrolün eklenmesi ile giderilir.

Ölçülen etkinin türevi alınır, kendisi ile toplanır, set değeri ile farkı alındıktan sonra da integratör devresinden geçirilir. Böylece, türevsel etki set değerinden önce olduğu için değişimlerden sistem fazla etkilenmez. Ayrıca ayarlaması iyi yapılmış bir sistemde aşırı artış olmaksızın sıcaklık set değerine oturtulur.



Şekil 22. PID Kontrol.

Bundan sonraki kısımda, değişik bir fırın tipi olarak pot fırınları (Potalı fırınlar) üzerinde durulacaktır. Bu konuda I. bölümünde belirli bir ön bilgi verilmiştir.

II.9. Potalı Fırınlar

Bu tip fırınlarda, cam, pot adı verilen, genellikle her fırının birkaç tane içerdiği özel konteynerlerde eritilir. Bir tank fırınında eritme prosesinin herbir aşaması olan soğutma, afinasyon, eritme, fırında özel bölgelerde gerçekleşirler. Bir potalı fırında, bütün bu aşamalar, aynı yerde gerçekleşirler. Ard arda ve potun içinde.

Eritme prosesi, periyodik bir prosestir. Ancak, fırın periyodik veya sürekli olarak işletilebilir. Günümüzde Almanya'da olduğu gibi açık tip potlar kullanılırsa, fırın ve potlar, 24 saatlik bir devre bağlı olan aynı periyodik

programı izlerler.

Eğer kapalı potlar kullanılırsa, fırın yanma boşluğu, potların yer aldığı bölümden ayrılmalıdır.Çünkü bunlar, toplama boşluğu haricinde yerleştirilmiş olan bölümlerdir. Toplama boşluğunun açılıp kapanması vasıtasıyla, sürekli fırın operasyonlarına periyodik eritme ile birleştirmek mümkündür.

Manafih, pot örtüsü, fırın ve cam arasında, sonuç olarak 24 saat periyoduyla çalışan kapalı potlardaki eritme periyodunda, ısı transferi için ana bir bariyer oluşturur.Bunun dışında, bu eritme tekniği, sadece düşük eritme ve afinyasyon sıcaklığı olan camlar için uygundur. Fakat, uçucu özelliği olan camlar için avantajları vardır. İyi dizayn edilmiş bir pot fırını, tam olarak ve doğru çalıştırılırsa, çok homojen cam verir.Bir avantajı da 24 saat periyotlu çalışması, nöbetli çalışma anlamına gelmez.

Dezavantajları arasında, cam işlemenin mekanizasyonunun sınırlı olmasına ve sınırların eritme ve fırının potlarının yapıldığı malzeme yüzünden , afine sıcaklığının limitlerinden dolayı, yüksek spesifik enerji sarfiyatı içermesidir.

II.9.1. Fırın Dizaynı

Yıllar boyu, birkaç pot fırını tipi geliştirilmiştir. Seçimler, burada açıkladığımız, konuyla ilgili dikkatli analizlere bağlı olmalıdır.Mevcut yakıt tipi, yapılacak cam tipi, ihtiyaç duyulan çalışma koşulları ve kalite standartları bilinmelidir.Potun aşırı ısınmasını önlemek için yumuşak bir alev kullanılmalı ve periodik çalışmalara uygun olması için geniş bir toleransla kontrol edilebilir olmalıdır.Pot fırınları en eski fırın tiplerindedir.Buna iyi bir örnek olarak Bütten fırınları verilebilir.Bu, kompakt tip bir fırın olup, ön ısıtılan gaz ve hava ile regeneratif olarak yakılır.Fırının alttan yakılması, cam fırınının ve gaz sağlayıcısının aynı üniteyi teşkil ettiğini göstermektedir.Bu tip fırının en zayıf yönü, yüksek sıcaklığın ve dökülen camın beraber etkisinden do-

layı hızla takılan kuşatma portlarıdır.Camin, cam deposuna, pot kırılması olayında emin olarak gitmesi için,potlar, merkeze aşağıya doğru hafifçe eğimlidir.

Herbir fırının çıkışında bir kapı çıkışı vardır.Potlar değiştirileceği zaman, eski potların çıkarılıp, yenilerinin konması için kolayca hareket ettirilebilen bir yapıda ve destekli yapılmıştır.Bu fırınlar doğal gazla yakma sistemine dönüştürülmüştür.

İkinci bir fırın tipi de, Bütün fırınlarına benzeyen ve halen kullanılmakta olan dairesel pot fırınlarıdır. Bunlar, bazı ülkelerde Schwaller veya Hermannsen fırınları olarak da bilinir.Bu fırın, potların dairesel olarak etrafına yerleştirildiği bir kule dizaynına yerleştirilmiş bir merkezi yakma sistemine sahiptir.Alev, her potun en dış tarafına ve merkezden bütün doğrultulara bir fan vasıtasıyla verilir.Çürük gaz akımları fırın duvarında bitişiktir ve fırın bir reküperatör olarak çalışır.En iyi yakıt, herhangi bir yan duvardan veya alttan verilen doğal gazdır.Yağ yakıt veya sıvılaştırılmış gaz yakıt kullanımı yönünde teşebbüsler vardır.

Yuvarlak pot fırını olarak, 16 pottan oluşan bir dizayn yapılmıştır.Ancak en büyük fırınlarda ekonomik operasyon için 6 ile 10 arasında pot sayısı kullanılırsa, fırın tezgahı alanı, doğru olacaktır.Bu fırının başlıca avantajı, birçok çalışma konumuna yerleştirilebilir ve böylece birçok üretim tipi için uygun olur.

Böyle bir yuvarlak fırın 2 veya 4 reküperatör içerecektir.Reküperatördeki özel ayarlamalarla, eritme odasındaki alev formasyonu değiştirilebilir.Cam işletmedeyken birçok konteyner boşluğunun açıkta olması, içeriye emilen soğuk hava limitinin, fırın basıncının kontrolü açısından bir dezavantaj arzeder.Biraz önce de bahsedildiği gibi konteyner boşluğunun yanındaki yuvarlak duvarlarda çürük gazlar bulunur.

Pot fırınları, ayrıca, yarım daire formunda da dizayn edilebilir.Bu, küçük bir yapı arzeder.Ancak, dezavantajı şudur: Dış duvar boyu, fırındaki pot sayısına bağlı ola-

rak artacaktır.Bu ise daha fazla enerji sarfiyatına yol açar.

II.9.2.Isıtma Prosesi

Isıtma süresince, pot fırınları, tank fırınlarıyla karşılaştırıldığında, sürekli ısıtma ve soğutma bakımından çok dezavantaj gösterir.Çekişten ve sıcaklıktan veya regeneratif sistemin özelliğinden dolayı yükselen ısı kayıpları hariç, fırının bütün parçaları sabit sıcaklıkta kaldığı için, bu ısı kayıpları bir tankla önlenir.Bununla beraber fırının çalışmasını engelleyen bir termal izolasyon yapılamaz.

Sürekli yakmaya rağmen, konteyner boşluklarının çalışma için açılması dolayısıyla, sıcaklıkların düşmesine yol açtığından, fırının kendisi sıcak kalsa bile, kaplı pot kullanılarak sürekli çalıştırılan fırın, herhangi bir gelişme kaydedemez.Potların kaplı olmasından dolayı, alevle cam arasındaki zayıf ısı transferi, eritme süresinin oldukça uzamasına, çekişin düşmesine ve spesifik enerji sarfiyatında üzerinde durulması gereken bir artışa sebep olur.Bir potalı fırının yakma havasının ön ısıtılması asla bir tank fırınının değerlerine ulaşamaz.

Rekuperatörler, özellikle metal rekuperatörler, düşük termal ataletlerinden dolayı, daha iyidirler ancak, metal rekuperatörde ön ısıtılacak hava sıcaklığı sınırlıdır. Seramik rekuperatörler daha iyi bir öneri olacaktır fakat zamanla, sürekli sıcaklık farklılıkları ve gerilmelerden dolayı oluşacak çatlak ve kırıkların getirdiği zararları vardır.Sonuç olarak, bir rekuperatörün çatlakları aşırı hale gelirse, fırının kapatılmasına yol açan bir olaydır. Çünkü, baca, fırın yakma havasını kaçıracaktır.Kısmen yeterli sürenin olmayışı, kısmen de cam kalitesinin yaptığı ikinci bir farklılık da, potun dışında kullanılabilecek cam miktarının sınırlıdır.Ulaşılabilecek en iyi değer, bir potun içeriğinin % 75'i kadardır.Yüksek cam kalitesi istenilirse, ve özellikle ince duvarlı ise, bu değer % 35-40'a indirilebilir.Farklı ölçüler ve kalitede cam üretimi için bu değer % 65-75 arasındadır.Bu değerlere nadiren e-

rişilir.

Yukarıda açıklanan bütün faktörler, bir pot fırınının spesifik enerji sarfiyatının, bir tank fırınınınkinden, daha yüksek olmasına yol açar.

Genellikle bu sarfiyat, 20000 ve 40000 kJ/kg.cam. arasındadır. Elde edilen en iyi değerler, yuvarlak fırınlar-
dadır. Farklı fırınların enerji sarfiyatları karşılaştırıl-
ırsa, potların dışında kullanılan cam miktarının derece-
lerle standardizasyonu gereklidir. Aksi halde hatalı karar-
lar alınabilir.

Küçük oranlardaki cam miktarlarının pot fırınlarında eritilmesine rağmen, bunlar cam endüstrisinin önemli bir kısmını teşkil eder ve büyük çeşitlilik ancak az miktarda-
ki cam mamüllerinin üretiminde ihtiyaç duyulur. Enerji fi-
yatları, pot fırınlarının kullanımında, daha fazla oranda
kullanılan tank fırınlarındaki kadar önemlidir. Fırındaki
daha büyük ısı akım oranlarının cam eritilmesinde kulla-
nılabilmesi için, refrakter kütlelerinin azaltıldığı yeni
bir pot fırını dizayn tipi, bu konuda son zamanlarda ya-
pılan çalışmalarla tamamlanmıştır.

Seramik bir reküperatörde ön ısıtılan hava ile beraber
doğal gazla yakılan bu fırın, bir konvektif metal reküpe-
ratörle seri bağlanmıştır. Bu fırın tipi, açık potlarda,
günlük kristal cam eritilmesi için, doğal gaz veya hafif
yağla yakılır ve 650 C'lik bir hava ön ısıtma sıcaklığı
ile, ve 380 C'lik çürük gaz sıcaklığı ile 25000 kJ/kg.cam
lık bir yakıt sarfiyatı vardır.

Bir pot fırınının çekişi, ölçülerine ve 500-5000 ara-
sı kg.cam/gün arasındaki değerlere bağlıdır. Toplam tezgah
alanı, 4-18 m² arasındadır ve erimiş cam alanı, tezgah a-
lanının % 33-48'idir. Büyük fırınlar, daha küçük fırınlara
nazaran daha küçük spesifik enerji sarfiyatı verir.

II.9.3. Elektrikle Isıtılan Pot Fırınları

Molibden, normalde bu fırınlarda veya dizaynlarında
ısıtma elemanı olarak kullanılır. Elemanlar aralıklı ola-
rak yerleştirilir. Aralar, mekanik hasarları veya iletken-

lerin topraklanmasını önlemek için yeterince derin yapılır. Araların, tam boyutlarını almaları için, uzun kullanım periyotlarından sonra bile dilli ve oluklu refrakterler tavsiye edilir. Fırınlar, burada tek pot fırını olarak dizayn edilir ve elemanlar, fırınla çevre arasındaki direkt radyasyonu önlemekten kaçınacak şekilde yerleştirilir.

Molibdenin elektriksel direnci, sıcaklığın artmasıyla, elektriksel bağlantıların ısıtma sırasında aşırı yüklemesini önlemek için, hızla artar. Yüksek voltajlarda transformatorler kullanılmalıdır.

Bu fırınlar, dışarıda eritilen cam miktarı oranı yüksek olsa bile, kontrollü ısıtmadan dolayı yüksek kalitede cam verir. Elektrikli fırınlar, ilk zamanlarda yüksek olan elektrik fiyatlarından dolayı itibar görmemiştir. Ancak, fosil yakıtların atık gaz oranı ve artan fiyatları, bu fırınları üzerinde düşünmeye değer kılmıştır.

II.10. Kayıp Isının Geri Kazanılması

II.10.1. Reküperatörler ve Regeneratörler

Sıvı yakıtlı cam eritme fırınlarının yüksek çalışma sıcaklıkları, atık ısının yanma havasını ön ısıtması için, ve bazı özel durumlarda, enerji sarfiyatını minimumda tutmak için kullanılmasını, gündeme getiriyor. Pratikte, reküperatörler ve regeneratörler bu amacı yerine getirirler ve dizayn hesaplamaları üzerinde durulmaktadır.

Fırınların büyük bir kısmı sadece özel durumlarda kullanılan reküperatör ve regeneratöre haizdir. Reküperatörün davranışı daha basit olduğu için, uygunlukları sebebiyle öncelikle üzerlerinde durulur.

Regeneratörler, aralıklı çalıştırılan ısı eşanjörleridir. Avantajları, atık gazlar ve hava arasında gaz sızdırmaz ayırıcıya ihtiyaç duymamalarıdır. Dezavantajları, periyodik tersine gaz akımlarıdır. Regeneratörler genellikle cam fırınları için tercih edilirler çünkü daha yüksek hava ön ısıtma sıcaklıkları verirler. Hesaplarında analitik metotlar genellikle zordur ve genelde reküperatörler gibi

düşünüp, uygun bir ısı transfer katsayısı, K, kabul edilir. K'nın hesaplanması için çeşitli metotlar vardır.

Bilgisayar tekniğinin gelişmesi, regeneratör datası olarak, reküperatörlerde uygun K'nın bulunmasını kolaylaştırmıştır.

II.10.1. Atık Isı Boilerleri

Tank fırınına terk eden atık gazlar nispeten yüksek sıcaklıkta olduğundan ve enerji fiyatlarının yüksek oluşundan dolayı ulaşılan ısıнын yeniden kullanılması gerektiği açıktır. Bu atık gaz ısısının kullanımının gerçekleştirilebilirliği, tesisatta düşecek sıcaklığın verilmesine, ısıya ve diğer enerji ihtiyacına bağlıdır. Atık gazlar, regeneratörlerle, yakma havasının ön ısıtılmasında geniş ölçüde kullanılır ve bir fırının çalışmasıyla zıt periyodik olarak çalıştırılmalıdır. Atık ısıнын ikinci bir kullanımı ise ters mekanizmanın akım yönünde olur. Yani sıcaklık farkları azaltılır. Reküperatörlerle sabit yakılan cam fırınları, daha yüksek sıcaklık farklarına sahiptir. Özellikle reküperatörlerle atık ısı boilerleri aynı sistem içinde birleştirilebilirse, yükselir. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklar ısı transferinin şiddetli olmasına neden olur. Bu ise, geniş ısıtma alanı ihtiyacını azaltır. Bunların dezavantajı, yüksek sıcaklık direnci olan pahalı çeliklerin konstrüksiyonda kullanılması ihtiyacıdır.

Atık gazlardan tozların filtrasyonla atılması çok gerekli olduğundan, ayrıca atık gazların filtrasyondan önce soğutulması gerektiğinden bu işlem için atık ısı boilerleri uygun bir anlam taşımaktadır.

1.a. Genel Isıtma amaçlı atık ısı Boilerleri

Cam sanayiinde, binanın ısıtılması, yakıtların ön ısıtılması geniş olarak uygulanır. Boiler kullanılmasının sebebi düşük basınçta çalışması ve bunun daha kolay sağlanmasıdır. En kolay çözüm bir alev borulu boilerdir. Gaz yakmalı bir tank fırını ile birleştirilen bu tip boilerin tek problemi, borularda biriken toz tortusu olup, temizleme ile, boruların giriş ve çıkışları kolaylaşır. Bu tip boilerler 10-15 bar'da çalışır.

Eğer çığ noktası aşılsa, ağır yakıtla yakılan tanklarda, sülfirik asit tehlikesi yükselmektedir. Bir atık ısı boilerinin dizaynından önce deneysel olarak çığ noktasının belirlenmesi korozyon açısından iyi bir tedbir olacaktır. Deneylere göre, yakıtın sülfür miktarı, % 2'den az ise korozyon önlenabilir. Sülfür miktarının % 1-2 ise daha az önemi olmaktadır.

Kritik parametre, yakma koşullarıyla daha az önemi olan ve daha az etkilenen SO_3 miktarıdır. Boilerlerin ısıtma yüzey sıcaklıklarının daima çığ noktasının üzerinde tutulmasıyla zararlar önlenabilir.

Buhar boilerlerinde, atık gaz tarafındaki yüzey sıcaklıkları 10 C kadar olup, su için çığ noktasının üzerindedir. Bir kızdırıcıda bu daha yüksektir. Asitin çığ noktası 160 C ise, yoğunlaşma sıcaklığı 180 C seçilebilir. Buna tekabül eden çalışma basıncı 9.5 bar olup, bir valf ile sabit tutulmalıdır. Karşı akımlı bir sistemle, boilerlere sağlanan su, yüksek basınç besleyici ısıtıcısında buharla ön ısıtılmalıdır.

Eğer asit yoğunlaşmasından dolayı oluşan korozyonun önlenmesi gerekiyorsa, 30 bar'lık bir basınca tekabül eden 230 C'lik bir yoğunlaşma sıcaklığı kullanılmalıdır. Su borulu boilerlerde ise, gömlekli ve borulu boilerler en iyisi değildir.

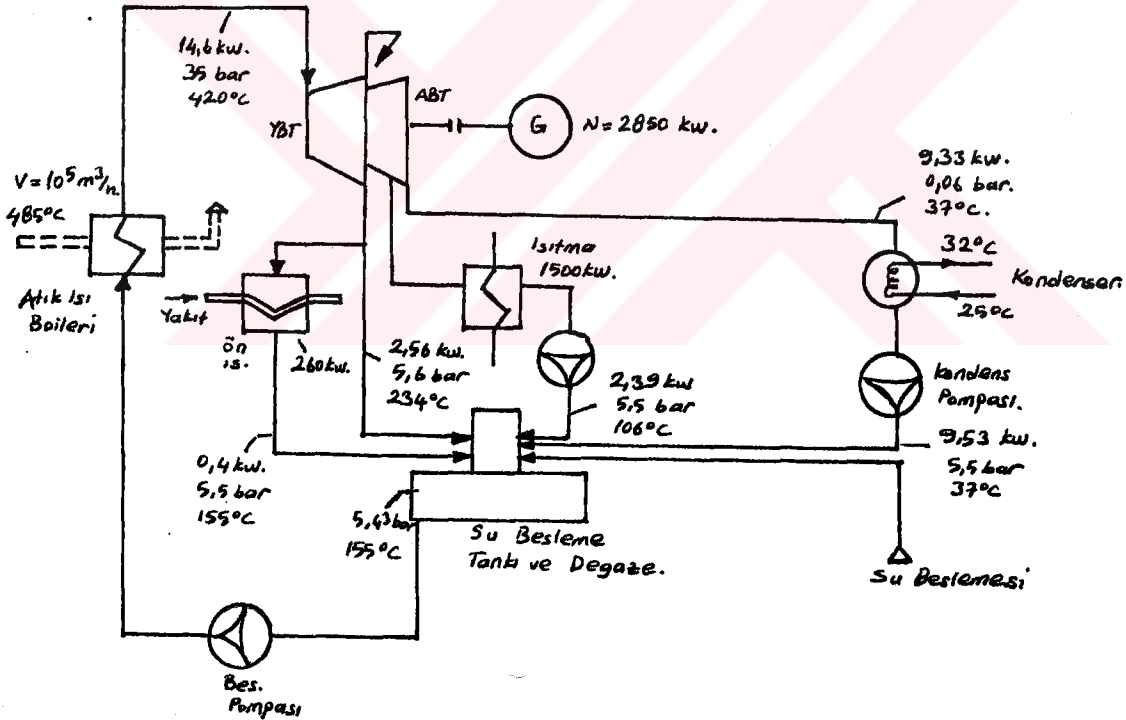
1.b. Atık Isı Elektrik Güç Planı

Atık ısı kullanımının daha iyi, ancak, daha yüksek miktarlı bir yatırımı olarak, küçük bir elektrik gücü üretim ünitesidir. Böyle bir ünitenin dizaynı şekil 23'te verilmiştir. Atık gazlar, basıncı bir türbinde genişletilerek düşürülen kızgın buhar üretimi ile boilerde soğutulur. Çıkışta bir miktar buhar ısıtma amaçlı kullanılırken, artan kısmı da, besleme suyuna yeniden gönderilmek ve ısıtma yoluyla gazının gidermek için kondenserde yoğunlaştıruluyor. Buhar türbini, bir generatöre, bir kompresöre veya fana tahrik verebilir. Elektrik üretimi sırasında, türbindeki buhar yüksek basınçta olabilir ve kuruluk derecesi tesbit edilsin diye kızdırılmış olabilir. Buhar kuruluk

derecesi düşük olursa, erozyon ve düşük etkinlik olabilir.

Eğer bir proste atık gaz miktarı ve sıcaklığı sabit tutulursa, boilerdeki atık gaz, su ve buhar sıcaklıkları arasındaki ilişkileri gösteren bir diagram verilebilir. Boilere olan ısı girişi, atık gazdan çekilen, T_1 sıcaklığında girip, T_3 sıcaklığında çıkan atık gazın verdiği ısıdır. Besleme suyunun T_5 gibi bir giriş sıcaklığı olup, yoğunlaşan buhar sıcaklığı olan T_4 'e çıkar, ve buharlaşır. Kızdırıcısız bir boilerde, buhar sıcaklığı, yoğunlaşan buharın sıcaklığında sabit kalır.

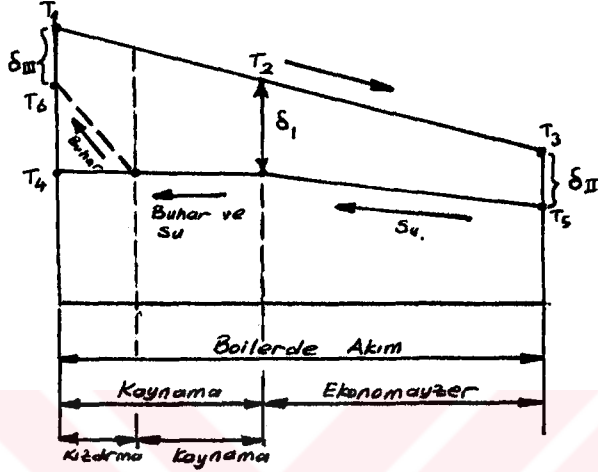
δ_1 Sıcaklık farkı, evaporasyon yüzeyi sonunda yeter derecede büyük olmalı, çünkü, ısıtma yüzey alanı sıcaklık farklarıyla ters orantılıdır. Bahsedilen sıcaklık diagramı, şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 23.

Eğer sıcaklık farkları çok küçük ise, ısıtma yüzeyi ekonomik olmayacak bir şekilde genişleyecektir, ve elde edilecek gerekli buhar basıncını engelleyecektir. Aynı şey, δ_2 sıcaklık farkıyla da ilgilidir. T_2 atık gaz sıcaklığı için, boiler limiti ve ekonomayzer yüzey alanı optimize edilmelidir. Boiler yüzey alanı çok küçük ise,

(ki T_2 T_1 'e yakın olacaktır), çok az buhar elde edilecektir. Ekonomayzer artık ısıyı kullanamayacak ve boiler ekonomik olmayacaktır. Eğer boiler yüzey alanı çok büyük ise (ki T_2 çok düşük olacaktır.) yoğunlaşan buhar miktarı çok büyük olmasına rağmen, buhar basıncı çok düşük olacak ve bu çok az elektrik çıkışı verecektir.



Şekil 24.

Buhar türbinleri sadece kızgın buharla kullanılabilir. Bu ise bir kızdırıcıda elde edilir ki, kızdırıcı boilerin kendi parçası olup, kızdırıcıda buhar ayrı olarak ısıtılır.

Bu sistem Şekil 24'te açıklanmıştır. Boileri buharın son terk etme sıcaklığı, T_6 'dır ve δ_m sıcaklık farkı, buharı emniyetle elde edecek ve sürdüreceği seviyede tutmak için, kızdırmanın ihtiyaç duyulan derecesi için, yeterince geniş bir fark olmalıdır. Cam fırınında atık gazlar genellikle, kızdırma için uygun olmayan ve değmeyen ve yeteri kadar sıcak olmayan tozlar içerir. Kızdırıcı kirlenmesi kolayca oluşur ve bu risk, kızdırma sıcaklığının artmasıyla büyüyecektir. Bu yüzden buharın ısıtılmasının ayrı bir kızdırıcıda yapılması ve bu ısıtmanın fırından olan atık gazlarla yapılması ve bu ısıtmanın fırından olan atık gazlarla yapılması, sık sık daha uygun olmaktadır. Namafih, yakıt fiyatları arttığı için, ayrı bir kızdırıcının yerleştirilmesi ve çalıştırılması pahalı olmakta ve yapılabilirliği, dikkatli değerlendirmeye ihtiyaç duymak-

tadır.Yoğuşan buharın yardımcı bir boilerde kızdırılması, 1200 C ve yoğuşan buhar sıcaklığı arasında olması gereken bir sıcaklığa ihtiyaç duyar.Bunu ekonomik olarak icra etmek için, yoğuşmuş buhar kendi ekonomayzerinde ısıtılmalıdır.Böyle bir boilerin kontrolü güçtür ve türbin geniş bir buhar sıcaklığı arasında çalışacaktır.

Eğer, bir sıcaklık düşüşü için, kızdırma ilave bir sisteme ihtiyaç duymaksızın boilerde gerçekleşiyorsa, ayrı bir kızdırıcının yerleştirilmesi ile karşılaştırılırsa, buhar daha düşük bir basınçta olmalı veya ısıtma yüzeyi nispeten geniş bir ölçekte dizayn edilmiş olmalıdır.

Yukarıdaki sistem, bir elektrik üretim sistemini, 260 kw'lık, yakıt ön ısıtmasını; 10 m³/h debi, 485 C sıcaklıkta atık gaz sağlanmasıyla 1500 kw'lık mahal ısıtmasını veriyor.Mekanik enerji ise, bir türbin tarafından sağlanmaktadır.

Eğer ilave bir atık ısı boileri kullanılırsa, türbindeki buhar basıncı 500 C'de 78 bar'a çıkabilir.Bu suretle artan türbin performansı, dezavantaj olarak, ayrı yakılan bir kızdırıcı için yakıt fiyatı artacaktır.Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, bir atık gaz, generatörden güç elde etmek için türbinden geçirilmek üzere, kızdırıcıda ısıtıcı olarak kullanılabilir.

Her durumda en ekonomik çözüm, ayrı olarak belirlenmelidir.Atık gaz sıcaklığının redüklenmesinden dolayı, çekişin düştüğünden hareketle, doğal çekişli bir baca yeterli olmayabilir ve ilave bir çekiş sistemi, atık ısı boilerleri için gerekli olacaktır.Çalışmasıyla ilave bir yatırım ve enerji sarfiyatı getirecek olan bir emme fanının yerleştirilmesi kaçınılmaz olacaktır.Ancak, baca atık ısı boilerlerinin kapatılmasıyla, sıcaklık değişimlerine maruz kalacaktır ve bu değişimlere dayanacak şekilde dizayn edilmelidir.

1.c. Atık Isı Boilerlerinin Dizaynı

35 bar buhar basıncında çalışan atık ısı boilerleri daima su borulu boilerlerdir ve su sirkülasyonu doğal veya basınçlı olabilir.Konvektif boilerler daha basit kons-

trüksiyonludur ve birkaç yardımcı pompa sözkonusudur, ancak dizaynları daha az adapte edilebilir yapıdadır.

Sıvı yakıtla yanan fırınlarla beraber kullanılan atık ısı boilerleri iki ayda bir hava üflenerek temizlenmelidir. Üfleme biriken tozları atacak ve lülelere yapışan bisülfatın temizlenmesini sağlayacak şekilde olmalıdır. Temizleme işlemi iki gün alabilir ve bu süre içinde boilerler kullanım dışıdır. Her üç yılda bir boilerler komple teftiş edilmelidir ve her 9 yılda bir basınç testine tabi tutulmalıdır.

Korozyon ve tozların yapışması problemi üst atık gaz akımı ile minimize edilebilir.

Max. tahmini buhar.....6.3 ton/h

Max. basınç.....47 atm.

Atık gaz giriş sıc.....480 C

Besleme suyu sıc.....155 C

Atık gaz çıkış sıc.....250 C

1.d. Cam Ergitme Fırınlarının Bağlantılı Olduğu Atık Isı Boilerleri

Regeneratif yakılan fırınların tersine, reküperatif yakılan fırınlar, tamamen veya kısmen, atık ısı boilerlerinin geliştirilmesi için bir kolaylıktır. Burada sıcaklık düşümü daha fazla olacaktır, ancak, ön ısıtılan havanın ön ısıtma sıcaklığının fiyatında da azalmaya yol açacaktır.

1.e. Dizayn Hesapları

$$\eta_f = \frac{\dot{E}_B - \dot{H}_A}{\dot{E}_B} \quad \begin{array}{l} \dot{E}_B: \text{Fırına yakıt enerjisinin akımı.} \\ \dot{H}_A: \text{Atık gaz akımının entalpisi.} \end{array}$$

$$\dot{E}_B - \dot{H}_A = \dot{E}_{B,R} + \dot{H}_L - \dot{H}_A \frac{\dot{E}_{B,R}}{\dot{E}_B} \quad \dot{E}_{B,R}: \text{Ön ısıtmalı yakıt enerji akımı.}$$

$$\frac{\dot{E}_{B,R}}{\dot{E}_B} = \frac{\eta_f}{\eta_f + \frac{\dot{H}_L}{\dot{E}_{B,R}}} \quad \text{ve} \quad \frac{\dot{H}_L}{\dot{E}_{B,R}} = \frac{\lambda l_{st} \cdot \Delta T_L \cdot C_p}{H_u}$$

λ : Yanma hava fazlalık katsayısı.

l_{st} : Birim yakıt ağırlığı başına stokiometrik hava ihtiyacı.

ΔT_L : Hava ön ısıtma sıcaklık farkı.

C_p : Hava özgül ısısı.

H_u : Yakıtın net kalori değeri.

$\lambda l_{st}=11.7$ değeri için $H_u = 40600$ kJ/kg.yakıt , $=0.4$ olmaktadır.

Bu sistemlere alternatif konstrüksiyon, cam fırınının ve atık ısı boilerinin içine bir reküperatör yerleştirilmektedir.Böyle bir sistem verilmiş olup, koşulları da yukarıda verilmiştir.

1.f. Enerji Yönetimi ve Enerji Dağıtımı

Atık ısı boilerinin amacı, fırındaki atık gaz ısısının sağlanmasını sağlamaktır.Bu bakımdan bunlar, fırının bir parçasıdır, ancak, enerji yönetimi ve dağıtımı bakımından fırının bir parçası olmaktan uzak bir görünüm arzeder.Atık ısı boilerinin dizayn ve ekonomisi, kendisi tarafından etkilenen fırın ve diğer parçaları da içerir. Bu konuda, atık ısının kullanımını gösteren, su ısıtıcı ve kızdırıcıyı ayrı ayrı içeren sistemler vardır.Bu sistem, sadece yakıt fiyatlarının düşük olması durumunda uygulanabilir.....(R.3, R.4, R.5, R.7, R.11, R.12, R.13).

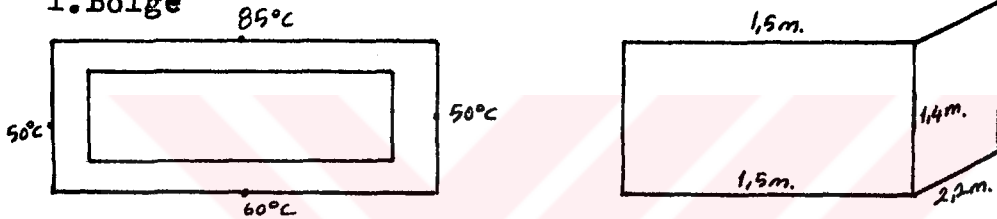
III.BÖLÜM: Termik Hesaplara Giriş.

Bu kısımda fırının ısı balansı incelenecektir. Bunun için öncelikle fırın duvarlarından konveksiyon ve radyasyon yoluyla oluşan ısı kayıpları incelenecektir.

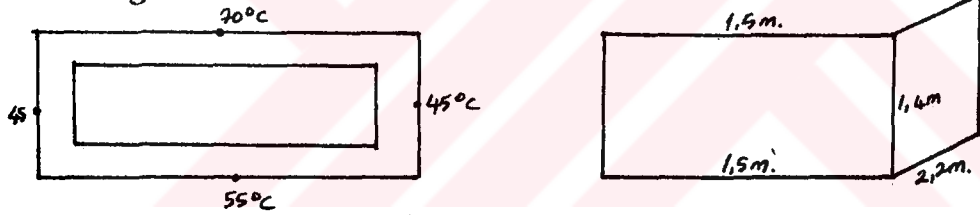
Ancak hesaplara girilirken unutulmamalıdır ki buradaki hesaplar model hesaplarıdır. Çünkü verilen done ve referans noktaları tamamen gerçek olmayıp, gerçeğe yakın değerleri göstermektedir.

İnceleme yapacağımız fırın 5 bölgeden oluşmaktadır ki bu 5 bölgenin iç ve dış sıcaklık dağılımı tamamıyla birbirinden farklıdır. Öncelikle bu 5 bölgenin boyut ve sıcaklık dağılımını inceleyelim.

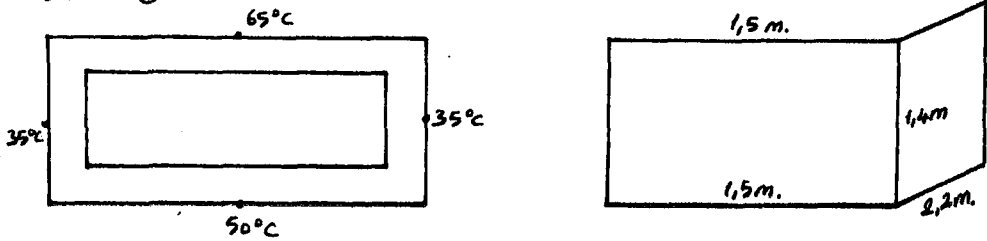
1. Bölge



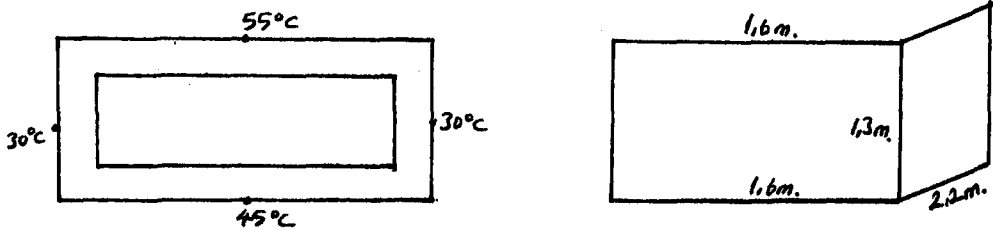
2. Bölge



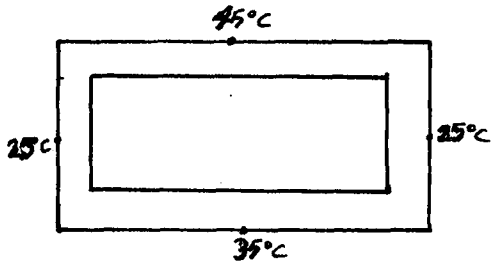
3. Bölge



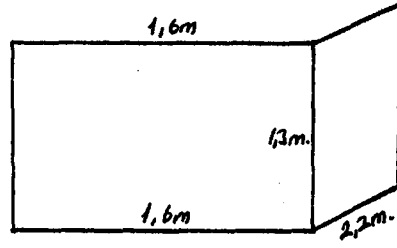
4. Bölge



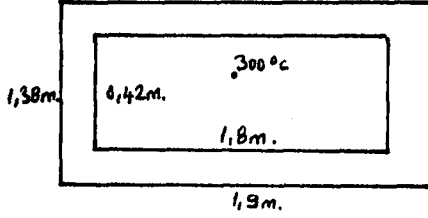
5. Bölge



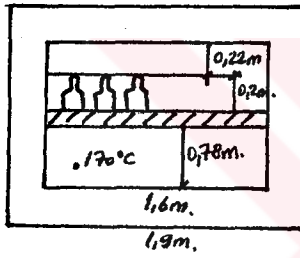
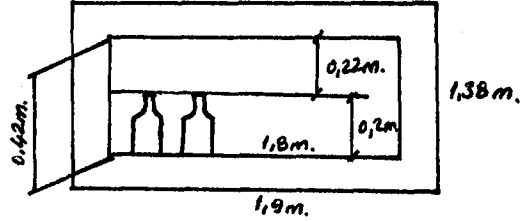
Ön Duvar Boyutları.



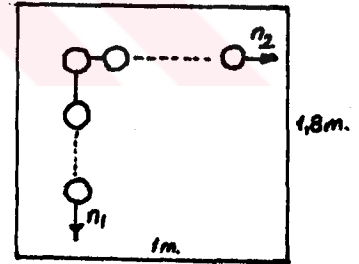
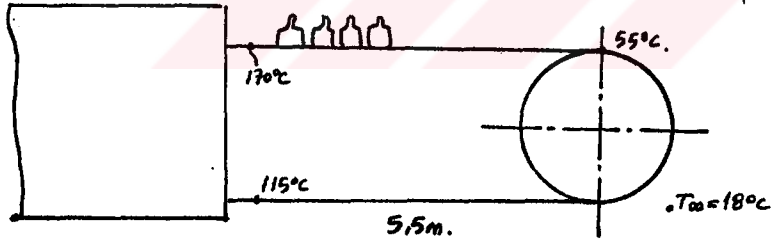
Malzeme Girişi



Malzeme Çıkışı



Şişeleri Taşıyan Bantın Boyutları.



1 m. banttaki şişe adetleri

$$n_1 = \frac{1800 - (2 \cdot 200)}{79 + 40} = 11.76 \approx 12 \text{ adet.}$$

$$n_2 = \frac{1000}{79 + 10} = 11.236 \approx 12 \text{ adet.}$$

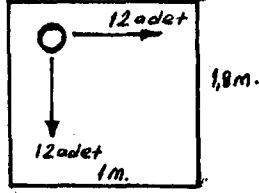
$$n_T = n_1 \times n_2 = 144 \text{ adet.}$$

$$n_T = 144 \times 32,72 = 4712 \text{ adet/h}$$

$$1 \text{ adet} = 574 \text{ gr.} = 0,574 \text{ kg.}$$

$$m = 0,574 \times 4712 = 2704,58 \text{ kg/h}$$

$$Q_{\text{fay.}} = m \cdot C_p \cdot (545 - 460)$$



Bant Hızı: 1 m'yi 110 saniyede alıyor.

$$9,09 \cdot 10^{-3} \text{ m. 1 saniyede,}$$

$$32,72 \text{ m. 3600 saniye= 1 saat.}$$

$$v_{\text{bant}} = 32,72 \text{ m/h} = 9,09 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Isı Kaybı Hesaplarında Takip Edilecek Yol.

Konveksiyonla (Tabi Konveksiyonla) Olan Isı Kaybı

$$Q = A \cdot \alpha_{\text{dış duv.}} \cdot (t_w - t) \text{ dir.}$$

A: Dış duvarın yüzey alanı. (m^2)

$\alpha_{\text{dış duv.}}$: Ortamın ısı geçirme katsayısı. ($\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)

t_w : Dış duvarın sıcaklığı. ($^\circ\text{C}$)

t : Ortam sıcaklığı. ($^\circ\text{C}$)

$\alpha_{\text{dış duv.}}$ 'ın hesaplanması:

$$t_f = \frac{t_w + t}{2} \text{(1) bulunur.}$$

t_f sıcaklığındaki havanın özellikleri belirlenir.

(T, λ, C_p, γ , ve dolayısıyla Pr bulunur.). $B = 1/T$ dir.

B değeri bulunur.

$$Gr = \frac{g \cdot B \cdot (t_w - t) \cdot L_k^3}{\gamma^2} \text{(2). 'den bulunur.}$$

Gr.Pr bulunur ve miktarına bakılır. Buna göre " c ve n "

bulunur. $Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^m$ (3) 'ten bulunur.

$$Nu = \frac{\alpha_{\text{dış duv.}} \cdot L_k}{\lambda} \text{ (4) 'ten } \alpha_{\text{dış duv}} \text{ çekilir.}$$

$$Q_{\text{dk}} = A \cdot \alpha_{\text{dış duv.}} \cdot \Delta t \text{(5) 'ten belirlenir.}$$

Bundan sonraki aşama, radyasyonla olan ısı kaybını bulmaktır.

Radyasyonla Olan Isı Kaybının Bulunuşu

$$Q_R = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 \cdot A_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2 \cdot A_2}} \dots\dots\dots(6) \text{`dan bulunur.}$$

Burada genelde A_2 çok büyük olduğundan, 3.direnç 0'a çok yakındır.

$Q_R = A \cdot \alpha_R \cdot \Delta T \dots\dots\dots(7)$ `den α_R çekilerek bulunur.Daha sonra

$\alpha_T = \alpha_{\text{Rad}} + \alpha_{\text{Dış duv.}} \dots\dots\dots(8)$ `den bulunur.

$Q_D \text{ yan yüzey} = A \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \dots\dots\dots(9)$ `dan bulunur.

2 yan yüzey için hesap yapılıyorsa bu değerin 2 katı alınır.Bu hesaplar, bütün bölgelerde bütün yüzeylerde yapılır.....(R.8).

III.1. Duvar Kayıpları

III.1.1. I.Bölgede Kaybolan Isı

1.a. İki Yan Duvardan Kaybolan Isı

1.a.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w = 50^\circ\text{C}$, $t_s = 18^\circ\text{C}$ $L_k = 1.4 \text{ m.}$

(1) bağıntısından, $t_f = 34^\circ\text{C}$ bulunur.

34 C'deki hava için,

$$B = 3,257 \cdot 10^{-3}$$

$$C_p = 1,006 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\mu = 1,995 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms.}$$

$$\gamma = 16,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\lambda = 0,0267 \text{ W/m }^\circ\text{C} \times 0,86 = 0,02302 \text{ kcal/wh}^\circ\text{C}$$

$$\text{Pr} = 0,71 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

(2) bağıntısından, $\text{Gr} = 1,044 \cdot 10^{10}$

$$\text{Gr.Pr} = 7415173086 > 10^8$$

$c = 0,021$ ve $n = 0,4$ okunur.....(R.6).

(3) bağıntısından $Nu = 186,32$ ve,

(4) bağıntısından $\alpha_{dd} = 3,04 \text{ kcal/m}^2\text{h C}$

$Q_{dk} = 204,8 \text{ kcal/h}$, (5) bağıntısından.

1.a.2. Radyasyonla Olan ısı Kaybı.

$E_b = \sigma T^4$ olup, $\sigma = 5,67.10^{-8}/1,163 \text{ kcal/m}^2\text{hK}^4$ alınacaktır.

$F_{12} = 1$, $\epsilon = 0,93$ (tuğla yüzeyler için)....(R.6).

(6) bağıntısından, $Q_R = 353,59 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R = 5,261 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$,

(8) bağıntısından, $\alpha_T = 8,301 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$ bulunur.

(9) bağıntısından, $Q_{yd} = 557,87 \text{ kcal/h}$,

İki yüzey için, $Q_{yd} = 1115,75 \text{ kcal/h}$ bulunur.

1.b. Üst Yatay Duvardan Kaybolan Isı

1.b.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w = 85 \text{ C}$, $t = 18 \text{ C}$, $L_k = 1,5 \text{ m}$.

(1) bağıntısından, $t_f = 51,5 \text{ C}$ bulunur.

51,5 C `deki havanın özellikleri.

$C_p = 1,0077 \text{ kJ/kg C} = 0,2572 \text{ kcal/kg C}$

$\mu = 2,028.10^{-5} \text{ kg/ms}$.

$\gamma = 18,169.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$\lambda = 0,02809 \text{ W/mC} \times 0,86 = 0,0241 \text{ kcal/mhC}$

$Pr = 0,71$(R.6).

(2) bağıntısından, $Gr = 2,07036.10^{10}$,

$Gr.Pr = 1,4699556.10^{10} > 10^8$

$c = 0,15$, $m = 0,333$(R.6).

(3) bağıntısından, $Nu = 364,589$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd} = 5,857 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

$Q_{dk} = 1295,14 \text{ kcal/h}$. olacaktır.(5) bağıntısından.

1.b.2. Radyasyonla Olan Isı Kaybı.

(6) bağıntısından, $Q_R = 1384,78 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R = 6,263 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$,

(8) bağıntısından, $\alpha_T = 12,12 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$ ve buradan,

(9) bağıntısından, $Q_T = 2679,76 \text{ kcal/h}$ bulunur.

1.c. Tabandan Kaybolan Isı

1.c.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w = 60^\circ\text{C}$, $t = 18^\circ\text{C}$, $A = 3,3 \text{ m}^2$.

(1) bağıntısından, $t_f = 39^\circ\text{C}$ bulunur.

39°C 'deki havanın özellikleri,

$C_p = 1,0067 \text{ kJ/kgC} = 0,2405 \text{ kcal/kgC}$

$\gamma = 2,005 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$.

$\lambda = 16,899 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$C_f = 0,02715 \text{ W/mC} \times 0,86 = 0,02334 \text{ kcal/mhC}$

$Pr = 0,72 \dots \dots \dots (R.6)$.

(2) bağıntısından, $Gr = 1,560623 \cdot 10^{10}$

$Gr.Pr = 1,1236488 \cdot 10^{10} > 10^8$

$c = 0,15$, $m = 0,333 \dots \dots (R.6)$.

(3) bağıntısından, $Nu = 333,389$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd} = 5,187 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(5) bağıntısından, $Q_{dk} = 719 \text{ kcal/h}$. bulunur.

1.c.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$F_{12} = 0,85$.

(6) bağıntısından, $Q_R = 658,77 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R = 4,753 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(8) bağıntısından, $\alpha_T = 9,94 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(9) bağıntısından, $Q_T = 1377,695 \text{ kcal/h}$ bulunur.

III.1.2. II.Bölgede Kaybolan Isı

2.a. İki yan Duvardan Kaybolan Isı

2.a.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w = 45^\circ\text{C}$, $t = 18^\circ\text{C}$, $L_k = 1,4 \text{ m}$. ve $A = 2,1 \text{ m}^2$.

(1) bağıntısından, $t_f = 31,5^\circ\text{C}$ bulunur.

$31,5^\circ\text{C}$ 'deki havanın özellikleri.

$B = 3,284 \cdot 10^{-3}$

$C_p = 1,006 \text{ kJ/kgC} = 0,2403 \text{ kcal/kgC}$

$\gamma = 1,991 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$,

$$\gamma = 16,137 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s},$$

$$\lambda = 0,02658 \text{ W/mC} \times 0,86 = 0,02286 \text{ kcal/mhC}$$

$$\text{Pr} = 0,72 \dots \dots \dots (\text{R.6}).$$

$$(2) \text{ bağıntısından, } \text{Gr} = 9165885527$$

$$\text{Gr.Pr} = 6599437579 > 10^8$$

$$c = 0,021, \text{ m} = 0,4 \dots \dots \dots (\text{R.6}).$$

$$(3) \text{ bağıntısından, } \text{Nu} = 177,836 \text{ ve}$$

$$(4) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{dd}} = 2,9 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(5) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{dk}} = 164,43 \text{ kcal/h.}$$

2.a.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$$\xi = 0,93 \text{ ve } F_{12} = 1.$$

$$(6) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{R}} = 291 \text{ kcal/h}$$

$$(7) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{R}} = 5,132 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(8) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{T}} = 8,032 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(9) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{yd}} = 455,43 \text{ kcal/h ve iki yüzey için, } Q_{\text{yd}} = 910,86 \text{ kcal/h.}$$

2.b. Tavandan Kaybolan Isı

2.b.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$$t_w = 70^\circ\text{C}, \text{ } t = 18^\circ\text{C}, \text{ } L_k = 1,5 \text{ m. ve } A = 3,3 \text{ m}^2.$$

$$(1) \text{ bağıntısından, } t_f = 44^\circ\text{C ve } B = 3,154 \cdot 10^{-3}$$

44 C'deki havanın özellikleri,

$$C_p = 1,0067 \text{ kJ/kgC} = 0,2405 \text{ kcal/kgC}$$

$$\mu = 2,0142 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$\gamma = 17,407 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\lambda = 0,02752 \text{ W/mC} \times 0,86 = 0,02367 \text{ kcal/mhC}$$

$$\text{Pr} = 0,71 \dots \dots \dots (\text{R.6}).$$

$$(2) \text{ bağıntısından, } \text{Gr} = 1,792090586 \cdot 10^{10}$$

$$\text{Gr.Pr} = 1,272384316 \cdot 10^{10} > 10^8$$

$$c = 0,15, \text{ m} = 0,333 \dots \dots \dots (\text{R.6}).$$

$$(3) \text{ bağıntısından, } \text{Nu} = 347,48 \text{ ve}$$

$$(4) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{dd}} = 5,48 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(5) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{dk}} = 940,92 \text{ kcal/h.}$$

$\epsilon = 0,93$ ve $F_{12} = 1$.

2.b.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

(6) bağıntısından, $Q_R = 998,4$ kcal/h

(7) bağıntısından, $\alpha_R = 5,818$ kcal/m²hC

(8) bağıntısından, $\alpha_T = 11,298$ kcal/m²hC

(9) bağıntısından, $Q_T = 1938,77$ kcal/h.

2.c. Tabandan Kaybolan Isı

2.c.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w = 55^\circ\text{C}$, $t = 23^\circ\text{C}$,

(1) bağıntısından, $t_p = 39^\circ\text{C}$ ve $B = 3,2051 \cdot 10^{-3}$

39 C'deki havanın özellikleri,

$C_p = 1,0067$ kJ/kgC = $0,2405$ kcal/kgC

$\gamma = 2,005 \cdot 10^{-5}$ kg/ms.

$\dot{\gamma} = 16,889 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

$\lambda = 0,02715$ W/mC x $0,86 = 0,02334$ kcal/m²hC

$Pr = 0,72 \dots \dots \dots (R.6).$

(2) bağıntısından, $Gr = 1,189083452 \cdot 10^{10}$

$Gr.Pr = 8561400852 > 10^8$

$c = 0,15$ ve $m = 0,333 \dots \dots \dots (R.6).$

(3) bağıntısından, $Nu = 304,53$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd} = 4,738$ kcal/m²hC

(5) bağıntısından, $Q_{dk} = 500,384$ kcal/h.

2.c.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$\epsilon = 0,93$ ve $F_{12} = 0,85$

(6) bağıntısından, $Q_R = 501,14$ kcal/h

(7) bağıntısından, $\alpha_R = 4,745$ kcal/m²hC

(8) bağıntısından, $\alpha_T = 9,483$ kcal/m²hC

(9) bağıntısından, $Q_T = 1001,473$ kcal/h.

III.1.3. III.Bölgede Kaybolan Isı

3.a. İki Yan Duvardan Kaybolan Isı

3.a.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w = 35^\circ\text{C}$, $t = 18^\circ\text{C}$, $L_k = 1,4$ m. ve $A = 2,1$ m².

(1) bağıntısından, $t_f = 26,5^\circ\text{C}$ ve $B = 3,338.10^{-3}$
26,5°C'deki havanın özellikleri,

$$C_p = 1,005 \text{ kJ/kgC} = 0,24 \text{ kcal/kgC}$$

$$\gamma = 1,978.10^{-5} \text{ kg/ms.}$$

$$\eta = 15,618.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\lambda = 0,02253 \text{ kcal/mhC}$$

$$\text{Pr} = 0,71 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

(2) bağıntısından, $\text{Gr} = 6262352807$

$$\text{Gr.Pr} = 4446270493 > 10^8$$

$$c = 0,021 \text{ ve } m = 0,4 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

(3) bağıntısından, $\text{Nu} = 151,85$ ve

$$(4) \text{ bağıntısından, } \alpha_{dd} = 2,442 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(5) \text{ bağıntısından, } Q_{dk} = 82,24 \text{ kcal/h.}$$

3.a.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$$\epsilon = 0,93 \text{ ve } F_{12} = 1.$$

$$(6) \text{ bağıntısından, } Q_R = 174,143 \text{ kcal/h}$$

$$(7) \text{ bağıntısından, } \alpha_R = 4,878 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(8) \text{ bağıntısından, } \alpha_T = 7,32 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(9) \text{ bağıntısından, } Q_{yd} = 261,358 \text{ kcal/h. İki yüzey için,}$$

$$Q_{yd} = 522,7 \text{ kcal/h.}$$

3.b. Tavandan Kaybolan Isı

3.b.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$$t_w = 65^\circ\text{C} , t = 18^\circ\text{C} , L_k = 1,5 \text{ m. ve } A = 3,3 \text{ m}^2.$$

$$(1) \text{ bağıntısından, } t_f = 41,5^\circ\text{C} \text{ ve } B = 3,18.10^{-3}$$

41,5°C'deki havanın özellikleri,

$$C_p = 0,2404 \text{ kcal/kgC}$$

$$\gamma = 2,0096.10^{-5} \text{ kg/ms.}$$

$$\eta = 17,153.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\lambda = 0,02351 \text{ kcal/mhC}$$

$$\text{Pr} = 0,71 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

$$(2) \text{ bağıntısından, } \text{Gr} = 1,681851269.10^{10}$$

$$\text{Gr.Pr} = 1,194114401.10^{10} > 10^8$$

$$c = 0,15 \text{ ve } m = 0,333 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

(3) bağıntısından, $\text{Nu} = 340,21$ ve

$$(4) \text{ bağıntısından, } \alpha_{dd} = 5,33 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

(5) bağıntısından, $Q_{dk}=827,029 \text{ kcal/h}$

3.b.2. Radyasyonla Kaybolan ısı.

$\epsilon=0,93$ ve $F_{12}=1$.

(6) bağıntısından, $Q_R=880,22 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R=5,675 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(8) bağıntısından, $\alpha_T=11,005 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(9) bağıntısından, $Q_T=1706,9 \text{ kcal/h}$.

3.c. Tabandan Kaybolan Isı

3.c.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w=50^\circ\text{C}$, $t=23^\circ\text{C}$, $L_k=1,5 \text{ m}$. ve $A=3,3 \text{ m}^2$.

(1) bağıntısından, $t_f=36,5^\circ\text{C}$ ve $B=3,23.10^{-3}$

$36,5^\circ\text{C}$ 'deki havanın özellikleri,

$C_p=0,2404 \text{ kcal/kgC}$

$\gamma=2,00048.10^{-5} \text{ kg/ms}$.

$\nu=16,645.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$\lambda=0,02318 \text{ kcal/mhC}$ $Pr=0,71 \dots\dots\dots(R.6)$.

(2) bağıntısından, $Gr=1,04217697.10^{10}$

$Gr.Pr=7399456489 > 10^8$

$c=0,15$ ve $m=0,333 \dots\dots\dots(R.6)$.

(3) bağıntısından, $Nu=290,09$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd}=4,482 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(5) bağıntısından, $Q_{dk}=399,42 \text{ kcal/h}$.

3.c.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$\epsilon=0,93$ ve $F_{12}=0,85$.

(6) bağıntısından, $Q_R=412,45 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R=4,629 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(8) bağıntısından, $\alpha_T=9,11 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(9) bağıntısından, $Q_T=811,8 \text{ kcal/h}$.

III.1.4. 4.Bölgede Kaybolan Isı.

4.a. İki Yan Duvardan Kaybolan Isı

4.a.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w=30^\circ\text{C}$, $t=18^\circ\text{C}$, $L_k=1,3 \text{ m}$. ve $A=2,08 \text{ m}^2$.

(1) bağıntısından, $t_f=24^\circ\text{C}$ ve $B=3,367.10^{-3}$

24°C 'deki havanın özellikleri,

$C_p=0,2402 \text{ kcal/kgC}$

$$\gamma = 1,953 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms.}$$

$$\gamma = 15,308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\lambda = 0,02236 \text{ kcal/mhC}$$

$$\text{Pr}=0,71 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

$$(2) \text{ bağıntısından, Gr}= 3716092533$$

$$\text{Gr.Pr}= 2638425698 > 10^8$$

$$\text{c}=0,021 \text{ ve } \text{m}= 0,4 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

$$(3) \text{ bağıntısından, Nu}=123,24 \text{ ve}$$

$$(4) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{dd}}=2,12 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(5) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{dk}}= 52,9 \text{ kcal/h.}$$

4.a.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$$\epsilon=0,93 \text{ ve } F_{12}=1.$$

$$(6) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{R}}=118,67 \text{ kcal/h.}$$

$$(7) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{R}}=4,754 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(8) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{T}}=6,874 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(9) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{yd}}=171,59 \text{ kcal/h ve iki yüzeydin kaybolan ısı } Q_{\text{yd}}=343,18 \text{ kcal/h.}$$

4.b.Tavandan Kaybolan Isı.

4.b.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$$t_{\text{w}}= 55^{\circ}\text{C} , t=18^{\circ}\text{C} , L_{\text{k}}=1,6 \text{ m. ve } A=3,52 \text{ m}^2.$$

$$(1) \text{ bağıntısından, } t_{\text{f}}=36,5^{\circ}\text{C ve } B= 3,23 \cdot 10^{-3}$$

36,5°C'deki havanın özellikleri,

$$C_{\text{p}}= 0,2404 \text{ kcal/kgC}$$

$$\gamma = 2,00048 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms.}$$

$$\gamma = 16,645 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\lambda = 0,02318 \text{ kcal/mhC}$$

$$\text{Pr}=0,71 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

$$(2) \text{ bağıntısından, Gr}= 1,733267536 \cdot 10^{10}$$

$$\text{Gr.Pr}= 1,23061995 \cdot 10^{10} > 10^8$$

$$\text{c}=0,15 \text{ ve } \text{m}= 0,333 \dots\dots\dots(\text{R.6}).$$

$$(3) \text{ bağıntısından, Nu}=343,64 \text{ ve}$$

$$(4) \text{ bağıntısından, } \alpha_{\text{dd}}=4,978 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(5) \text{ bağıntısından, } Q_{\text{dk}}=598,66 \text{ kcal/h}$$

4.b.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$$\epsilon=0,9 \text{ ve } F_{12}=1.$$

- (6) bağıntısından, $Q_R=652,585 \text{ kcal/h.}$
(7) bağıntısından, $\alpha_R=5,427 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
(8) bağıntısından, $\alpha_T=10,405 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
(9) bağıntısından, $Q_T=1251,19 \text{ kcal/h.}$

4.c.Tabandan Kaybolan Isı.

4.c.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w=45^\circ\text{C}$, $t=23^\circ\text{C}$, $L_k=1,6 \text{ m.}$ ve $A=3,25 \text{ m}^2$.

- (1) bağıntısından, $t_f=34^\circ\text{C}$ ve $B=3,257.10^{-3}$
34 C'deki havanın özellikleri,

$C_p= 0,2403 \text{ kcal/kgC}$

$\gamma= 1,995.10^{-5} \text{ kg/ms.}$

$\gamma= 16,391.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$

$\lambda= 0,02302 \text{ kcal/mhC}$

$Pr=0,71 \dots\dots\dots(R.6).$

- (2) bağıntısından, $Gr=1,071663625.10^{10}$

$Gr.Pr= 7608811811 > 10^8$

$c=0,15$ ve $m=0,333 \dots\dots\dots(R.6).$

- (3) bağıntısından, $Nu=292,8$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd}=4,21 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(5) bağıntısından, $Q_{dk}=326,22 \text{ kcal/h.}$

4.c.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$\epsilon=0,93$ ve $F_{12}=0,85$.

- (6) bağıntısından, $Q_R=349,65 \text{ kcal/h}$
(7) bağıntısından, $\alpha_R=4,51 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
(8) bağıntısından, $\alpha_T=8,72 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
(9) bağıntısından, $Q_T=675,67 \text{ kcal/h.}$

III.1.5. 5.Bölgede Kaybolan Isı.

5.a. İki Yan Duvardan Kaybolan Isı

5.a.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w=25^\circ\text{C}$, $t=18^\circ\text{C}$, $L_k=1,3 \text{ m.}$ ve $A=2,08 \text{ m}^2$.

- (1) bağıntısından, $t_f=21,5^\circ\text{C}$ ve $B=3,395.10^{-3}$
21,5 °C'deki havanın özellikleri,

$C_p= 0,2401 \text{ kcal/kgC}$

$\gamma= 1,928.10^{-5} \text{ kg/ms.}$

$\gamma= 15.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$

$Pr=0,71$ (R.6).

(2) bağıntısından, $Gr= 2276430338$

$Gr.Pr= 1616265540 > 10^8$

$c=0,021$ ve $m=0,4$ (R.6).

(3) bağıntısından, $Nu= 101,3$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd}=1,73 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(5) bağıntısından, $Q_{dk}=25,18 \text{ kcal/h.}$

5.a.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$\varepsilon=0,93$ ve $F_{12}=1$.

(6) bağıntısından, $Q_R=67,47 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R=4,634 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(8) bağıntısından, $\alpha_T=6,364 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(9) bağıntısından, $Q_{yd}=92,66 \text{ kcal/h.}$ İki yan yüzey için,
 $Q_{yd}=185,32 \text{ kcal/h.}$

5.b. Tavandan Kaybolan Isı.

5.b.1. Doğal Konveksiyonla Kaybılan Isı.

$t_w=45^\circ\text{C}$, $t=18^\circ\text{C}$, $L_k=1,6 \text{ m.}$ ve $A=3,52 \text{ m}^2$.

(1) bağıntısından, $t_f=31,5^\circ\text{C}$ ve $B=3,28.10^{-3}$
 $31,5^\circ\text{C}$ 'deki havanın özellikleri,

$C_p= 0,2403 \text{ kcal/kgC}$

$\gamma= 1,991.10^{-5} \text{ kg/ms.}$

$\gamma= 16,137.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$

$\lambda= 0,02286 \text{ kcal/mhC}$

$Pr=0,72$ (R.6).

(2) bağıntısından, $Gr= 7329782270$

$Gr.Pr= 5277443234 > 10^8$

$c=0,15$ ve $m=0,333$ (R.6).

(3) bağıntısından, $Nu=259,21$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd}=3,7 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(5) bağıntısından, $Q_{dk}=352 \text{ kcal/h.}$

5.b.2. Radyasyonla Transfer Olan Isı.

$\varepsilon=0,93$ ve $F_{12}=1$.

(6) bağıntısından, $Q_R=487,76 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R=5,13 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(8) bağıntısından, $\alpha_T=8,83 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(9) bağıntısından, $Q_T=839,41 \text{ kcal/h.}$

5.c. Tabandan Kaybolan Isı.

5.c.1. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w=35^\circ\text{C}$, $t=23^\circ\text{C}$, $L_k=1,6\text{m.}$ ve $A=3,52 \text{ m}^2$.

(1) bağıntısından, $t_f=29^\circ\text{C}$ ve $B=3,31.10^{-3}$
29°C'deki havanın özellikleri,

$C_p= 0,2402 \text{ kcal/kgC}$

$\eta= 1,986.10^{-5} \text{ kg/ms.}$

$\gamma= 15,88.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$

$\lambda= 0,02269 \text{ kcal/mhC}$

$Pr= 0,71 \dots\dots\dots(R.6).$

(2) bağıntısından, $Gr= 6329030652$

$Gr.Pr= 4556902069 > 10^8$

$c=0,15$ ve $m=0,333 \dots\dots\dots(R.6).$

(3) bağıntısından, $Nu= 246,84$ ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd}=3,5 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(5) bağıntısından, $Q_{dk}=147,86 \text{ kcal/h.}$

5.c.2. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$\epsilon=0,93$ ve $F_{12}=0,85$.

(6) bağıntısından, $Q_R=181,38 \text{ kcal/h.}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R=4,29 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(8) bağıntısından, $\alpha_T=7,79 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(9) bağıntısından, $Q_T=329,22 \text{ kcal/h.}$

III.1.6. Ön Duvardan Kaybolan Isı.

$$A= 1,38.1,9 - 0,42.1,8 = 1,866 \text{ m}^2.$$

6.a. Doğal Konveksiyonla Kaybolan Isı.

$t_w=300^\circ\text{C}$, $t=30^\circ\text{C}$, $L_k=1,38 \text{ m.}$ ve $A=1,866 \text{ m}^2$.

(1) bağıntısından, $t_f=165^\circ\text{C}$ ve $B=2,283.10^{-3}$
165°C'deki havanın özellikleri,

$C_p= 0,2434 \text{ kcal/kgC}$

$\eta= 2,436.10^{-5} \text{ kg/ms.}$

$\gamma= 28,15.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$

$\lambda= 0,03117 \text{ kcal/mhC}$

Pr=0,685(R.6).

(2) bağıntısından, Gr= 2,005483734.10¹⁰

Gr.Pr= 1,363728939.10¹⁰

c=0,1 ve m=0,333(R.6).

(3) bağıntısından, Nu= 237,06 ve

(4) bağıntısından, $\alpha_{dd}=5,35 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(5) bağıntısından, $Q_{dk}=2697,72 \text{ kcal/h.}$

6.b. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$\epsilon=0,93$ ve $F_{12}=1$.

(6) bağıntısından, $Q_R=8410,27 \text{ kcal/h}$

(7) bağıntısından, $\alpha_R=16,69 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(8) bağıntısından, $\alpha_T=22,04 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$

(9) bağıntısından, $Q_T=11104,19 \text{ kcal/h.}$

Toplam Duvar Kayıpları= 26793,888 kcal/h.

III.1.7. Malzeme Girişinden Kaybolan Isı.

$$A = 1,8.0,22 + 11.0,04 + 2.0,2 \\ = 1,236 \text{ m}^2.$$

t=20 C.

$$Q = A.C_s.\left(\left(\frac{T_w}{100}\right)^4 - \left(\frac{T}{100}\right)^4\right) \quad C = 4,87 \text{ kcal/m}^2\text{hK}^4$$

$$T_w = t_w + 273 \text{ K ve } T = t + 273 \text{ K} \quad t_w = 470 \text{ C.}$$

$$Q = 17900,738 \text{ kcal/h.}$$

III.1.8. Malzeme Çıkışından Kaybolan Isı.

$$A = (1,6.0,22) + (1,6.0,78) = 1,6 \text{ m}^2.$$

$$t = 20 \text{ C ve } t_w = 170 \text{ C}$$

Yukarıdaki bağıntıdan, $Q=2426,71 \text{ kcal/h.}$

$$Q = Q_g + Q_s = 20327,448 \text{ kcal/h.}$$

Bilinmeyen bir yolla % 10 kayıp olduğu kabul edilirse,

$$\text{Toplam ısı} = Q.1,1 = 22360,2 \text{ kcal/h.}$$

III.2. Sışeleri Taşıyan Bantın Cıkardığı Isı.

Bant boyutları girişte verildi.

$$Re_x = \frac{v \cdot x}{\nu} \quad \text{ve} \quad x = \frac{Re \cdot \nu}{v}$$

$$t_f = \frac{t_{bant} + t}{2} = \frac{115 + 18}{2} = 66,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

66,5° C'deki havanın özellikleri,

$$\mu = 2,055 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms.}$$

$$\nu = 19,69 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\lambda = 0,02514 \text{ kcal/mhC}$$

$$Pr = 0,70 \dots\dots\dots (R.6).$$

Laminar bölgede $Re_{lam} = 5 \cdot 10^5$ olacaktır.

$$x = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 19,69 \cdot 10^{-6}}{1,8} = 5,47 \text{ m} \cong 5,5 \text{ m.}$$

Bant üzerindeki akım tamamen laminar akımdır.

$$Re_{5,5} = \frac{1,8 \cdot 5,5}{19,69 \cdot 10^{-6}} = 5,028 \cdot 10^5$$

$$Nu = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3} \text{ ise yerine yazılırsa, } Nu = 418,05$$

$$(4) \text{ bağıntısından, } \alpha = 1,91 \text{ kcal/m}^2\text{hC.}$$

III.2.1. Radyasyonla Kaybolan Isı.

$$\epsilon = 0,3 \text{ oksitli yüzey için} \dots\dots (R.6). \quad F_{12} = 1.$$

$$(6) \text{ bağıntısından, } Q_R = 2244,07 \text{ kcal/h,}$$

$$(7) \text{ bağıntısından, } R = 2,336 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

$$(8) \text{ bağıntısından, } T = 4,246 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

(9) bağıntısından, bant alanı (1,8.5,5) için, $Q_{kayıp}$ bulunur. Bu değer, $Q = 4078,245 \text{ kcal/h}$ 'tır.

III.2.2. Bandın Dönerken Alacağı Isı.

Ortalama dönüş sıcaklığı,

$$t_f = \frac{115 + 55}{2} = 85^\circ\text{C} \quad A = (5,5 \cdot 1,8) = 9,9 \text{ m}^2.$$

$$F_{12} = 0,85$$

$$t_w = 115^\circ\text{C, } t = t_f = 85^\circ\text{C.} \quad \epsilon = 0,3$$

$$(6) \text{ bağıntısından, } Q_R = 858,048 \text{ kcal/h.}$$

$$Q_{\text{alınan}} = 858,048 \text{ kcal/h.}$$

$$Q_{\text{Bant net}} = 4078,245 - 858,048 = 3220,2 \text{ kcal/h.}$$

III.3. Şişelerin Tavlama Isısı

$$t_1 = 545^\circ\text{C} , t_2 = 460^\circ\text{C} , C_p = 735 \text{ j/kgC} = 0,175 \text{ kcal/kgC.}$$

$$Q_{\text{tavlama}} = m_{\text{cam}} \cdot C_{p\text{cam}} \cdot (t_1 - t_2)$$

1m x 1,8m bant boyutlarında 12x12 adet şişe bulunduğu başlangıçta verilmişti.Yine başlangıçta $m_{\text{cam}} = 2704,58 \text{ kg/h}$ bulunmuştu.Bu değerlere göre,

$$Q_{\text{tavlama}} = 2704,58 \cdot 0,175 \cdot (545 - 460) = 40232,115 \text{ kcal/h.}$$

III.4. Toplam Isı Miktarı.

$Q = \text{Duvar k.} + \text{Malzeme (giriş-çıkış) kayıpları} + \text{tavlama ısı} + \text{bantın net ısı} + \text{baca kaybı.}$

$$Q = 26793,888 + 17900,738 + 22360,2 + 3220,2 + 40232,115 + Q_{\text{Baca}}$$

$$Q = 110507,141 + Q_{\text{Baca}}$$

$$\text{Fırının ısı verimi: } \eta_1 = \frac{Q_{\text{duv}} + Q_{\text{MGÇ}} + Q_{\text{Bant-Net}}}{110507,141 - Q_{\text{Baca}}}$$

$\eta_1 = 0,90$ mertebesinde.

Fırın kalite mertebesi 0,25 mertebesinde.

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,225 \text{ yani } \% 22,5 \text{ civarındadır.}$$

III.5. Yanma Havası Miktarı.

Fuel-oil No 5 için, hesaplamalar yapılırsa,

Fuel-oil No 5'in analizi:

$$\text{Karbon (C)} = \% 85,55 = 85,55/100$$

$$\text{Kükürt (S)} = \% 1,05 = 1,05/100$$

$$\text{Oksijen(O)} = \% 0,7 = 0,7/100$$

$$\text{Hidrojen (H)} = \% 11,7 = 11,7/100$$

$$\text{Su (W)} = \% 1 = 1/100$$

Yakıtın Üst Isıl Değer Bağıntısı:

$$H_u = 32796 \cdot c + 141886(H - O/8) + 9300 \cdot S \text{ kj/kg....(R.6).}$$

$$H_u = 44543,25 \text{ kj/kg.}$$

Yakıtın Alt Isıl Değer Bağintısı:

$$H_a = H_u - 2440 (W+9H) = 41949,52 \text{ kJ/kg.}$$

1 kg. Yakıtın Yanması İçin Gerekli Teorik Özgül Hava Miktarı:

$$V_{tö} = 8,89.C + 26,7.(H - O/8) + 3,34.S = 10,71 \text{ Nm}^3/\text{kg.}$$

Gerçek Özgül Hava Miktarı:

$$V_G = \lambda.V_{tö} \quad \lambda = 1,1 \text{ hava fazlalık katsayısı.....(R.6).}$$

$$V_G = 1,1.10,71 = 11,781 \text{ Nm}^3/\text{kg.}$$

1 kg. Yakıtın Yanması ile Oluşan Teorik Özgül Dumangazı Miktarı:

$$V_{td} = 8,89.C + 21,1.(H - O/8) + 3,34.S + 0,8.N + 1,244(W+9H) \text{(R.6).}$$

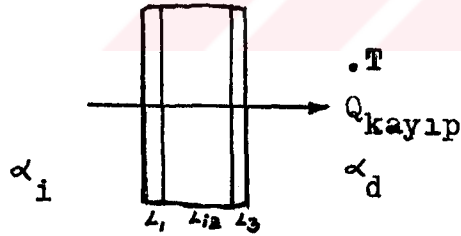
$$V_{td} = 11,378 \text{ Nm}^3/\text{kg.}$$

Gerçek Özgül Dumangazı Miktarı:

$$V_{gd} = V_{td} + (\lambda - 1).V_{tö} \text{(R.6).}$$

$$V_{gd} = 12,45 \text{ Nm}^3/\text{kg.}$$

III.6. Ekonomik İzole Kalınlığının Bulunması.



$$Q_k = K.A.\Delta T \text{ ise, } K = \frac{Q_k}{A.\Delta T} \text{ olacaktır.}$$

$$E = \frac{K^2.\Delta T.H.F}{H_u.\gamma.KY^n.BHM.\lambda_{iz}} \cdot \left(\frac{KY^n - 1}{KY - 1} \right) \text{ ve } L_{iz} = (\sqrt{E} - 1) \cdot \frac{\lambda_{iz}}{K}$$

L_{iz} = İzole kalınlığı (m).

K = Toplam ısı transfer katsayısı

H = Yıllık çalışma süresi (hour).

F = Yakıt birim fiyatı (TL/kg)

H_u = Yakıtın ısı değeri.

BHM = İzole birim hacim maliyeti. (TL/m³)

n = Kullanılacağı yıl sayısı.

$KY = 1 + \text{Kârlılık yüzdesi.....(R.9).}$

III.7. Tavlama Fırınlarında İmalat Soğutma Eğrisine Bağlı Olarak Gaz Sıcaklık Eğrisinin Çıkarılması.

A	B	C	D	E
Isıtma	Süre	Sıcaklık	Soğ.Hızı	Soğ.H.
hızı(C/dak)	(dak)	(C)	C/dak.	(C/dak)
.....				
Cidar K.				
.....				
3,2	50	5	8	50
4,0	30	7,5	5,3	30
5,0	18	10	3,2	18

bant hızı=0,54 m/dak.

Sıcaklık Diagramının Çizimi:

$$t_A = \frac{550 - 470}{30} = 2,66 \text{ dak.} \quad \text{Mesafe} = 2,66 \cdot 0,54 = 1,45 \text{ m.}$$

$$t_B = 5 \text{ dak.} \quad \text{Mesafe} = 5 \cdot 0,54 = 2,7 \text{ m.}$$

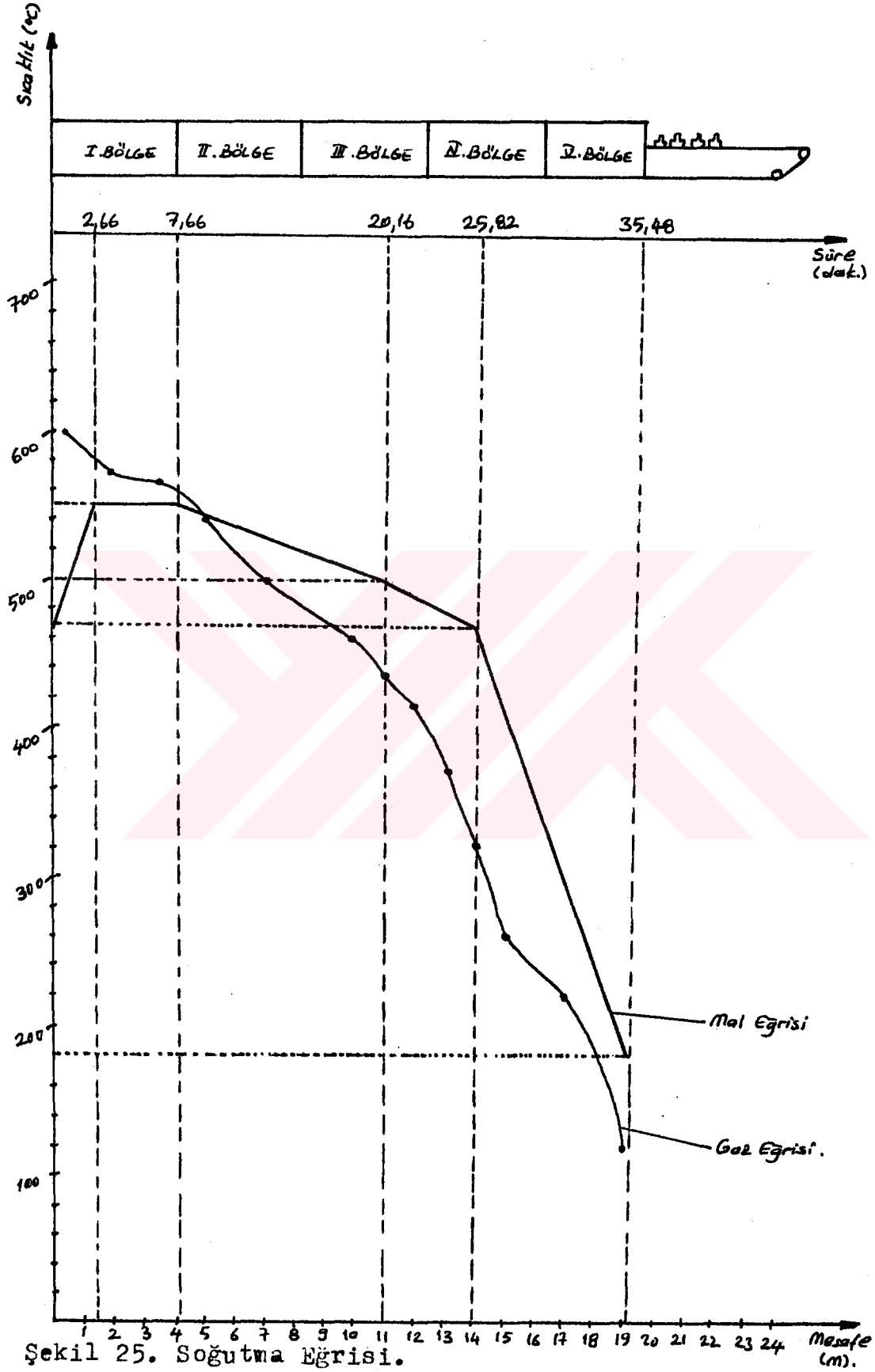
$$t_C = \frac{550 - 500}{4,0} = 12,5 \text{ dak.} \quad \text{Mesafe} = 12,5 \cdot 0,54 = 6,81 \text{ m.}$$

$$t_D = \frac{30}{5,3} = 5,66 \text{ dak.} \quad \text{Mesafe} = 5,66 \cdot 0,54 = 3,05 \text{ m.}$$

$$t_E = \frac{470 - 180}{30} = 9,66 \text{ dak.} \quad \text{Mesafe} = 9,66 \cdot 0,54 = 5,22 \text{ m.}$$

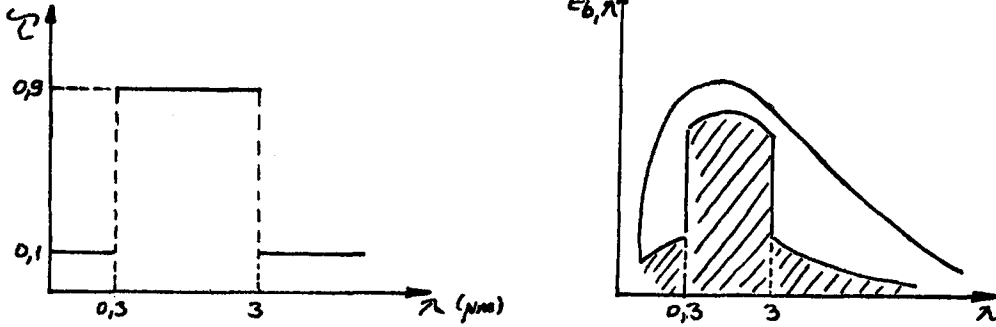
$$\text{Toplam} = 19,23 \text{ m.}$$

Bu hesaplara göre önce imalat soğutma eğrisi çizilecektir.



Camın Toplam Geçirgenliği.

1. $t=0,66$ dak.'da dumangazı sıcaklığının 600 C olduğu kabul edilerek, gözlem yapılsın.



$$\tau = 0,1 \cdot (F_{0-0,3}) + 0,9 \cdot (F_{0-3} - F_{0-0,3}) + 0,1 \cdot (1 - F_{0-3})$$
$$\Rightarrow T=873\text{ K için} \quad \lambda_1 \cdot T = 87,3 \text{ } \mu\text{mK} \quad F_{0-0,3} = 0$$
$$\lambda_2 \cdot T = 785,7 \text{ } \mu\text{mK} \quad F_{0-0,3} = 1,8 \cdot 10^{-5}$$

$\tau = 0,1$ bulunur.

Dumangazının geçtiği kesit = $2,73\text{ m}^2$. Şişe alanı = $0,05\text{ m}^2$.

Hesap Yöntemi

Malın alacağı ısı: $Q_{\text{mal}} = m_{\text{cam}} \cdot C_{\text{pcam}} \cdot (T_{2\text{cam}} - T_{1\text{cam}})$
.....(10). bağıntısından bulunur.

$m_{\text{cam}} = 2704,58\text{ kg/h}$ ve $C_{\text{pcam}} = 0,175\text{ kcal/kg C}$.

$Q_{\text{mal}} = Q_{\text{duman gazı}}$ (11). bağıntısına göre,

$Q_{\text{dg}} = m_g \cdot C_{\text{pg}} \cdot (T_{1g} - T_{2g})$ (12) bağıntısından m_g bulunur.

$m_g = \rho_g \cdot A \cdot U_g$ (13). bağıntısından U_g bulunur.

Konveksiyonla malın alacağı ısıların bulunuşu:

$Q_{\text{kon}} = \alpha \cdot A \cdot (T_g - T_f) \cdot t$ (16). olup, t_f ise, (1) bağıntısından bulunur.

$Re = \frac{U \cdot d}{\nu}$ (14)'ten bulunarak buna göre c ve n

değerleri okunur.

$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr^{1/3}$ (15).`ten bulunur ve (4) bağıntısından α bulunur, (16) bağıntısından Q_{kon} bulunur.

Radyasyonla Transfer Olan Isının Bulunuşu

1. Malzemeden yüzeylere transfer olan ısı, (6) bağıntısından bulunur.

2. Gazlardan malzemeye transfer olan ısı,

$$Q = A \cdot C_s \cdot \left(\left(\frac{600 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_y + 273}{100} \right)^4 \right) \dots\dots\dots (17) \text{ den bu}$$

lunur ve % 10'u geçtiği için bu miktarı düşülür.

Malın aldığı ısı malın yüzeyler ve gazlarla yaptığı net ısıya eşitse, yapılan sıcaklık kabulü doğrudur.

Soğuma bölgesinde ise, yani 2. bölgeden itibaren, mal konveksiyonla ısı verecek, radyasyonla gazlara ısı verecek, ancak, halâ sıcak olan yüzeylerden de ısı alacak olup, ısı transfer miktarları aynı bağıntı ve yöntemlerden yararlanılarak bulunur.

$t_g = 600$ C'ye göre,

(10) bağıntısından $Q_{mal} = 11832,5$ kcal/h bulunur.

(11) bağıntısına göre, $t_{2g} = 520$ C'ye göre, $\rho = 0,4$ kg/m³ ve $C_p = 0,3$ kcal/kgC için $m_g = 493,02$ kg/h bulunur. (12) bağıntısından yararlanılarak, bu değere ulaşılmıştır.

(13) bağıntısından, $U_g = 0,125$ m/s dir.

(14) bağıntısından, $Re = 104,29$ ve $c = 0,683$, $n = 0,466$ dir.

(15) bağıntısından, $Nu = 5,26$ ve (4) bağıntısından, $\alpha = 3,5$ kcal/m²hC bulunur.

(16) bağıntısından, $Q_{kon} = 1065,75$ kcal/h olacaktır.

Radyasyon ısıları:

1. Malzemeden yüzeylere $t_y = 438,42$ C için (6) bağıntısından, $Q = 5896$ kcal/h ve iki yüzey için, 11792 kcal/h'tır.

(6) bağıntısından, diğer yüzey için $Q = 6506$ kcal/h'lık ısı veriliyor.

2. Gazlardan malzemeye,

(17) bağıntısından, $Q = 32294,49$ kcal/h ve %10'u düşülürse, $Q = 29065,04$ kcal/h ısı alınıyor. Verilen ısılar, alınan ısılara eşit olduğu için kabul doğrudur.

2. 1.Bölgede 2m`de, yani 3,66 dak.`da $t_g=570$ C`dir,Hesapları yapılırsa,

(10) bağıntısından, $Q_{mal}=26031,58$ kcal/h`tır.

(11) bağıntısına göre, (12) bağıntısından, $t_{2g}= 500$ C için, $m_g=1239,6$ kg/h olarak bulunur.

(13) bağıntısından, $U_g=0,3$ m/s.

(14) bağıntısından, $Re=269,07$ ve $Pr=0,69$ için, $c=0,683$ ve $n=0,466$ dir.

(15) bağıntısından, $Nu=8,18$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=5,17$ kcal/m²hC ve

(16) bağıntısından, $Q_{kon}=3529,15$ kcal/h olup, 3,66 dak.da geçen 235,59 şişenin verdiği ısıdır.

Malzemedan yüzeylere $t_y=507,3$ C için (6) bağıntısından, $Q=13940,7$ kcal/h ve iki yüzey için, $Q=27881,5$ kcal/h radyasyonla ısı transfer olur.

(6) bağıntısından, diğer yüzeye $Q=15423,4$ kcal/h ısı transfer olur.

(17) bağıntısından gazlardan malzemeye $Q=73122,52$ kcal/h ve % 10`düşülerek $Q=65810,268$ kcal/h ısı geçer.

Buna göre $t_g=570$ C`dir.

3. 1.Bölgede 3,5 m`de  $t_g= 565$  C için hesap yapılsın.Süre 6,41 dak.`ya tekabül eder.Bu süre içinde 503,75 şişe geçer.

(10) bağıntısından, $Q_{mal}=26031,58$ kcal/h,

(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $m_g=1239,6$ kg/h,

(13) bağıntısından, $U_g=0,3$ m/s,

(14) bağıntısından, $Re=269,07$ ve $Pr=0,69$ için, $c=0,683$, $n=0,466$ dir.

(15) bağıntısından, $Nu=8,18$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=5,17$ kcal/m²hC bulunur.

(16) bağıntısından, $Q_{kon}=3529,15$ kcal/h. bulunur.

(6) bağıntısından, $t_y=506,11$ C için, malzemedan yüzeylere $Q=26446,5$ kcal/h ve iki yüzey için $Q=52893$ kcal/h`tır.

(6) bağıntısından, diğer yüzeye $Q=28895,18$ kcal/h ısı geçer.

Gazlardan Malzemeye ise,

(17) bağıntısından, $Q=113656,66$ kcal/h ve %10'u düşülürse, $Q=102291$ kcal/h ısı geçer. Buradan yapılacak ısı dengesine göre 3. kabul doğrudur.

4. Soğuma bölgesinde, yani 2. bölgede 5 m'de ve 9,16 dak. da $t_g=540$ C'ye göre hesap yapılsın. $t_{2g}=470$ C'ye göre, bu süre içinde 719,06 şişe geçer.

(10) bağıntısından, $Q_{mal}=2366,5$ kcal/h, (vereceği ısı).

(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $m_g=112,7$ kg/h,

(13) bağıntısından, $U_g=0,025$ m/s,

(14) bağıntısından, $Re=24,29$ ve $c=0,911$ ve $n=0,385$ tir.

(15) bağıntısından, $Nu=2,74$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=1,73$ kcal/m²hC'dir.

(16) bağıntısından, $Q_{kon}=464,63$ kcal/h'tır.

(17)bağıntısından, Gazlara verilen ısı $Q=25755,39$ kcal/h

(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı $Q=7685,46$ kcal/h ve iki yüzey için $Q=15370,9$ kcal/h'tır. ($t_y=550,45$ C).

(6) bağıntısından, diğer yüzeyin verdiği ısı $Q=8480,37$ kcal/h'tır. Buna göre denge kurulursa, kabul doğrudur.

5. 2.Bölgede 7 m'de ve 12,83 dak.'da $t_g=500$ C olsun. Bu sürede 1007,5 şişe geçer. $t_{2g}=430$ C'dir.

(10) bağıntısından, $Q_{mal}=9466,03$ kcal/h ,

(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $m_g=540,91$ kg/h,

(13) bağıntısından, $U_g=0,114$ m/s.,

(14) bağıntısından, $Re=113,14$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.

(15) bağıntısından, $Nu=5,44$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=3,31$ kcal/m²hC'dir.

(16) bağıntısından, $Q_{kon}=3751,82$ kcal/h,

(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=106522$ kcal/h,

(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı=28194,5 kcal/h, iki yüzey için $Q=56389,37$ kcal/h'tır. ($t_y=531,34$ C).

(6) bağıntısından, diğer yüzeyin verdiği ısı $Q=33765,86$ kcal/h'tır. Isı dengesi kurulursa, 5.kabul doğrudur.

6. 3.Bölgede 10 m'de 18,33 dak.'da $t_g=460$ C olsun. Bu sürede 1439,31 şişe geçer. $t_{2g}=390$ C'dir.

- (10) bağıntısından, $Q_{mal}=22245,17$ kcal/h,
(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $m_g=1271,15$ kg/h,
(13) bağıntısından, $U_g=0,258$ m/s.,
(14) bağıntısından, $Re=269,81$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.
(15) bağıntısından, $Nu=8,15$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=4,95$ kcal/hm²C'dir.
(16) bağıntısından, $Q_{kon}=19060,18$ kcal/h,
(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=329294,18$ kcal/h olup, %10'u düşülürse, $Q=296364,76$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı $Q=89049,76$ kcal/h ve iki yüzey için $Q=178099,52$ kcal/h'tır. ($t_y=550,25$ C).
(6) bağıntısından, diğer yüzeyin verdiği ısı $Q=115079,69$ kcal/h'tır. Isı dengesi kurulursa 6. kabul doğrudur.

7. 3.Bölgede 11 m'de, 20,16 dak.'da $t_g=450$ C olsun. Bu süreçte 1583,2 şişe geçer. $t_{2g}=370$ C'dir.

- (10) bağıntısından, $Q_{mal}=33131,1$ kcal/h,
(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $m_g=2208,74$ kg/h
(13) bağıntısından, $U_g=0,432$ m/s.,
(14) bağıntısından, $Re=471,77$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.
(15) bağıntısından, $Nu=10,58$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=4,87$ kcal/m²hC'dir.
(16) bağıntısından, $Q_{kon}=28334,29$ kcal/h,
(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=459946,7$ kcal/h olup, %10'u düşülürse $Q=413952,04$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı iki yüzey için $Q=266426,66$ kcal/h'tır. ($t_y=528,51$ C'dir).
(6) bağıntısından, diğer yüzeyin verdiği ısı $Q=142728,57$ kcal/h'tır. Isı dengesine bakılırsa, 7.kabul doğrudur.

8. 3.Bölgede 12 m'de, 22 dak.'da $t_g=410$ C olsun. Bu süreçte 1727 şişe geçer. $t_{2g}=340$ C'dir.

- (10) bağıntısından, $Q_{mal}=37864,12$ kcal/h,
(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $m_g=2163,66$ kg/h,
(13) bağıntısından, $U_g=0,407$ m/s.,
(14) bağıntısından, $Re=458,34$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.
(15) bağıntısından, $Nu=10,44$ ve (4) bağıntısından $\alpha=6,08$ kcal/m²hC'dir.

- (16) bağıntısından, $Q_{kon}=44642,73$ kcal/h,
(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı, $Q=547860,85$ kcal/h olup, %10'u düşülürse, $Q=493074,76$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı iki yüzey için, $Q=310955,23$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, diğer yüzeyin verdiği ısı $Q=188898,03$ kcal/h'tır. Buna göre ısı dengesi kurulursa 8.kabul doğrudur.

9. 4.Bölgede 13 m'de, 23,83 dak.'da $t_g=370$ C olsun.Bu sürede 1871,1 şişe geçer. $t_{2g}=300$ C'dir.

- (10) bağıntısından, $Q_{mal}=52063,16$ kcal/h,
(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $w_g=2975,04$ kg/h,
(13) bağıntısına göre, $U_g=0,54$ m/s.,
(14) bağıntısına göre, $Re=643,3$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.
(15) bağıntısından, $Nu=12,22$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=6,91$ kcal/m²hC'dir.
(16) bağıntısından, $Q_{kon}=74354,2$ kcal/h,
(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=725222,69$ kcal/h olup, %10'u düşülürse, $Q=652700,42$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı $Q=197768,15$ kcal/h ve iki yüzey için, $Q=395536,3$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, diğer yüzey için, $Q=279455$ kcal/h'tır.
($t_y=604,79$ C).Buna göre ısı dengesine bakılırsa 9.kabul doğrudur.

10. 4.Bölgede 14 m'de, 25,82 dak.'da $t_g=320$ C olsun.Bu sürede 2026,87 şişe geçer. $t_{2g}=250$ C'dir.

- (10) bağıntısından, $Q_{mal}=70995,22$ kcal/h,
(11) bağıntısından ve (12) bağıntısından, $w_g=4225,9$ kg/h,
(13) bağıntısından, $U_g=0,683$ m/s.,
(14) bağıntısından, $Re=874,79$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.
(15) bağıntısından, $Nu=14,11$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=7,68$ kcal/m²hC'dir.
(16) bağıntısından, $Q_{kon}=120593,91$ kcal/h,
(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=934677,19$ kcal/h olup, %10'u düşülürse, $Q=841209,47$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı iki yüzey için,

$Q=531825,39 \text{ kcal/h}$ 'tır.

(6) bağıntısından, diğer yüzey için, $Q=358982,14 \text{ kcal/h}$ 'tır. ($t_y=575,83 \text{ C}$). Buna göre ısı dengesinde, 10. kabul doğrudur.

11. 4.Bölgede 15 m'de, 27,5 dak.'da $t_g=260 \text{ C}$ olsun. Bu sürede 2158,75 şişe geçer. $t_{2g}=190 \text{ C}$ 'dir.

(10) bağıntısından, $Q_{\text{mal}}=70995,22 \text{ kcal/h}$ 'tır.

(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $w_g=4225,9 \text{ kg/h}$,

(13) bağıntısından, $U_g=0,66 \text{ m/s.}$,

(14) bağıntısından, $Re=840,02$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.

(15) bağıntısından, $Nu=13,84$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=7,08 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$ 'dir.

(16) bağıntısından, $Q_{\text{kon}}=137508,04 \text{ kcal/h}$ 'tır.

(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=934195,86 \text{ kcal/h}$ olup, %10'u düşülürse, $Q=840776,27 \text{ kcal/h}$ 'tır.

(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı iki yüzey için, $Q=549948,93 \text{ kcal/h}$ 'tır.

(6) bağıntısından diğer yüzey için, $Q=357340,1 \text{ kcal/h}$ 'tır. ($t_y=530,79 \text{ C}$). Buna göre ısı dengeden 11. kabul doğrudur.

12. 5.Bölgede 17 m'de, 31,17 dak.'da $t_g=210 \text{ C}$ olsun. Bu sürede 2446,82 şişe geçer. $t_{2g}=140 \text{ C}$ 'dir.

(10) bağıntısından, $Q_{\text{mal}}=42597,135 \text{ kcal/h}$,

(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $w_g=2535,54 \text{ kg/h}$,

(13) bağıntısından, $U_g=0,326 \text{ m/s.}$,

(14) bağıntısından, $Re=570,91$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.

(15) bağıntısından, $Nu=11,56$ ve (4) bağıntısından $\alpha=5,53 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$ 'dir.

(16) bağıntısından, $Q_{\text{kon}}=98137,62 \text{ kcal/h}$,

(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=602438,81 \text{ kcal/h}$ olup, %10'u düşülürse, $Q=542194,93 \text{ kcal/h}$ 'tır.

(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı iki yüzey için, $Q=346478,34 \text{ kcal/h}$ 'tır.

(6) bağıntısından diğer yüzey için, $Q=251256,8 \text{ kcal/h}$ 'tır. ($t_y=511,42 \text{ C}$). Buna göre ısı dengeden, 12. kabul doğrudur.

13. 5.Bölgede 19 m'de, 34,83 dak.'da $t_g=120 \text{ C}$ olsun. Bu sürede 2734,69 şişe geçer. $t_{2g}=40 \text{ C}$ 'dir.

- (10) bağıntısından, $Q_{mal}=33131,1$ kcal/h,
(11) bağıntısına göre (12) bağıntısından, $m_g=1725,57$ kg/h,
(13) bağıntısına göre, $U_g=0,184$ m/s.,
(14) bağıntısına göre, $Re=554,38$ ve $c=0,683$, $n=0,466$ 'dır.
(15) bağıntısına göre, $Nu=11,4$ ve (4) bağıntısından, $\alpha=3,84$ kcal/m²hC'dir.
(16) bağıntısından, $Q_{kon}=65644,79$ kcal/h,
(17) bağıntısından, gazlara verilen ısı $Q=320574,08$ kcal/h olup, %10'u düşülürse, $Q=288516,67$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, yüzeylerin verdiği ısı iki yüzey için, $Q=192618,15$ kcal/h'tır.
(6) bağıntısından, diğer yüzey için, $Q=128412,1$ kcal/h'tır ($t_y=319,62$ C). Buna göre, net ısı incelenirse, 13.kabul doğru olacaktır.

III.8. Isı Transfer Yüzdelерinin Tesbit Edilmesi

1.Bölgede

1. noktada: $Q_{kon}=1065,75$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=10767,04$ kcal/h
% 9 konveksiyon % 91 Radyasyon.
2.Noktada: $Q_{kon}=3529,15$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=22505,26$ kcal/h
% 13,55 konveksiyon % 86,45 radyasyon.
3.Noktada: $Q_{kon}=5530,22$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=20502,8$ kcal/h
%21,24 konveksiyon % 78,76 radyasyon.

2.Bölgede

- 4.Noktada: $Q_{kon}=464,63$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=1904,12$ kcal/h
% 19,6 konveksiyon % 80,4 radyasyon.
5.Noktada: $Q_{kon}=3751,82$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=5714,6$ kcal/h
% 39,6 konveksiyon % 60,4 radyasyon.

3.Bölgede

- 6.Noktada: $Q_{kon}=19060,18$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=3185,5$ kcal/h
% 85,6 konveksiyon % 14,4 radyasyon.
7.Noktada: $Q_{kon}=28334,28$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=4796,81$ kcal/h
% 85,5 konveksiyon % 14,5 radyasyon.
8.Noktada: $Q_{kon}=44642,7$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=6778,5$ kcal/h
% 86,8 konveksiyon % 13,2 radyasyon.

4. Bölgede

9. Nuktada: $Q_{kon}=74354,2$ kcal/h ve $Q_{net-rad}=22290,9$ kcal/h
% 76,9 konveksiyon % 23,1 radyasyon.

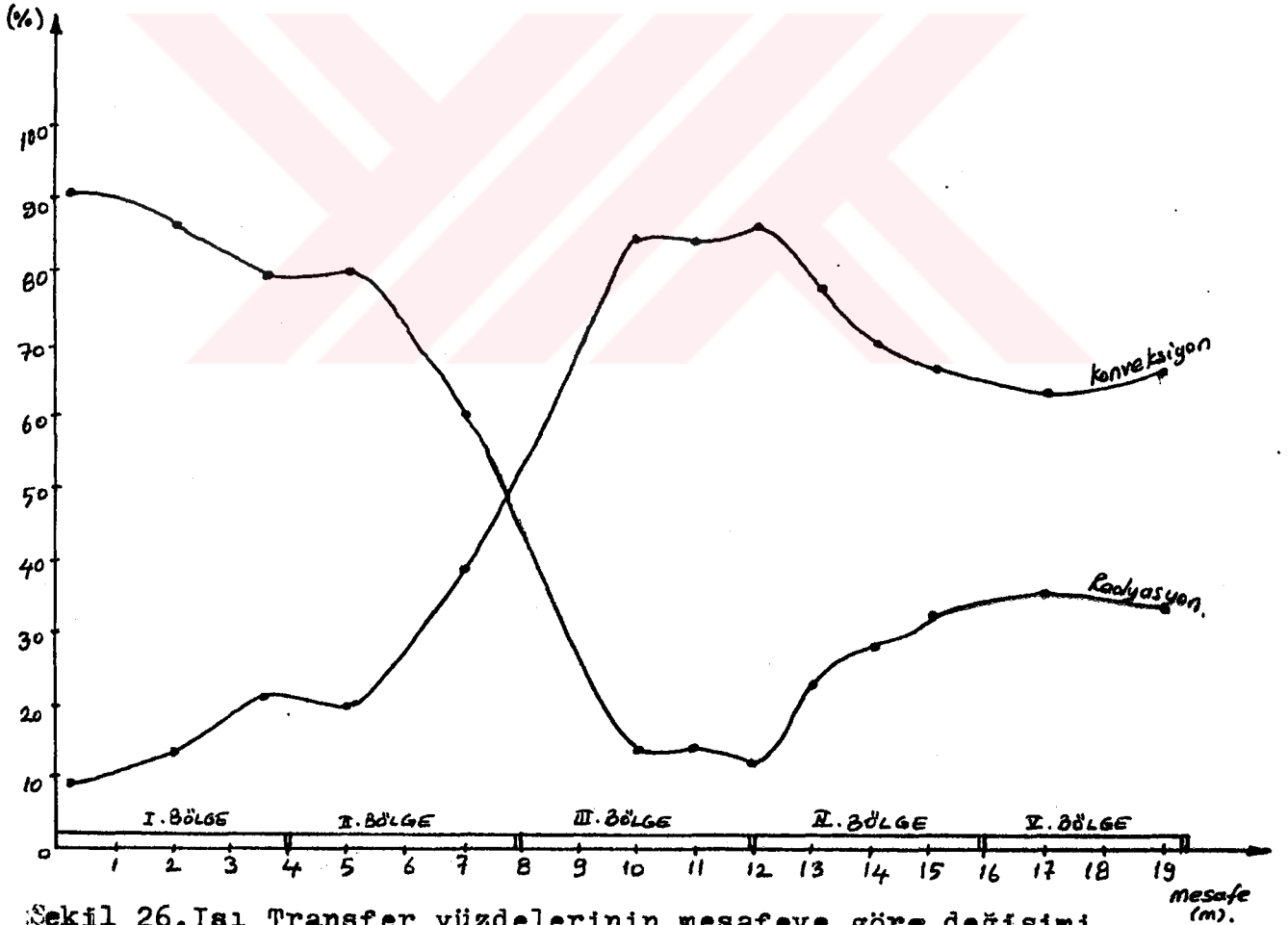
10. Nuktada: $Q_{kon}=120593,9$ kcal/h ve $Q_{nr.}=49598,06$ kcal/h
% 70,8 konveksiyon % 29,2 radyasyon.

11. Nuktada: $Q_{kon}=137508,04$ kcal/h ve $Q_{nr.}=66512,75$ kcal/h
% 67,4 konveksiyon % 32,6 radyasyon.

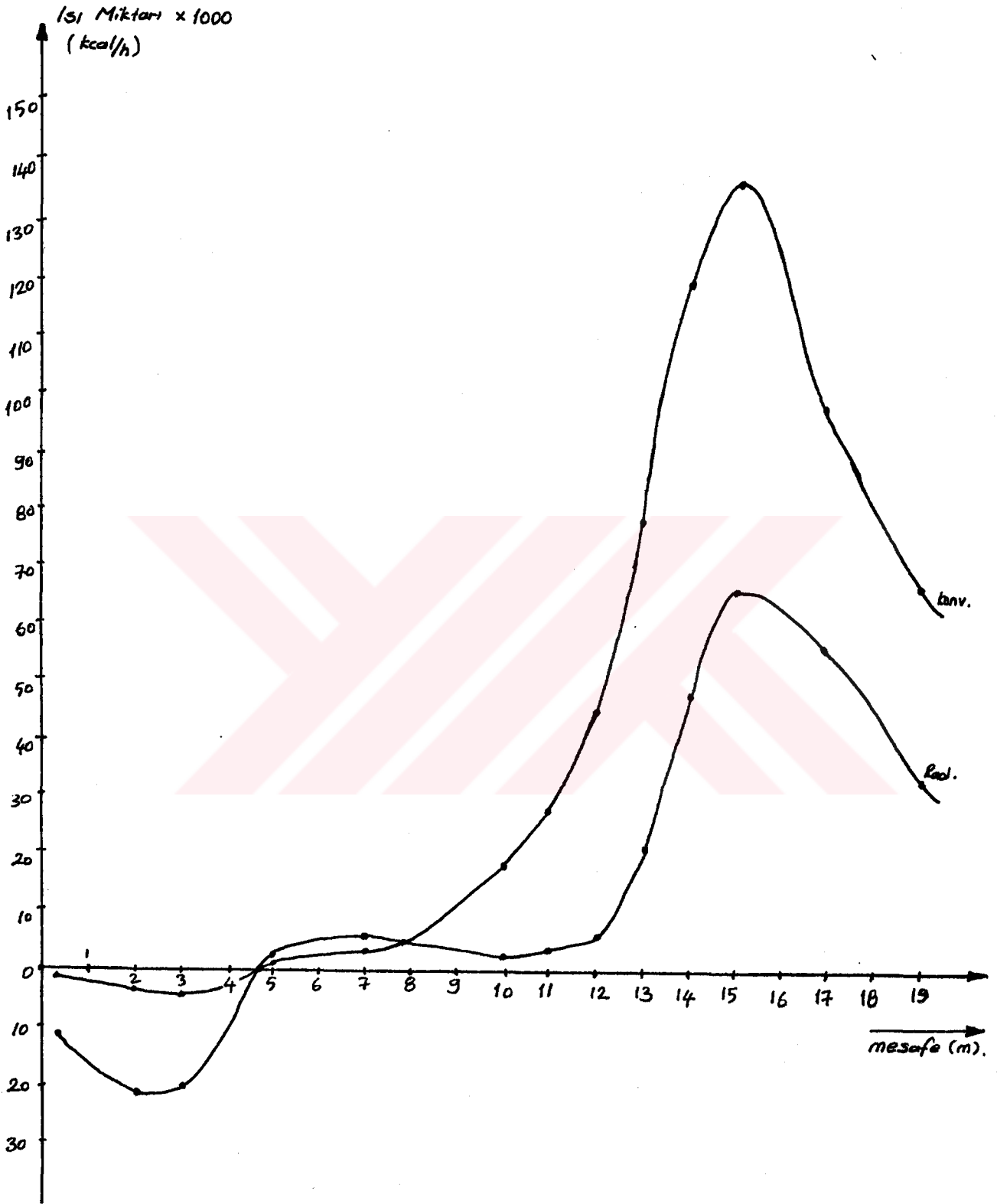
5. Bölgede

12. Nuktada: $Q_{kon}=98137,6$ kcal/h ve $Q_{nr.}=55540,2$ kcal/h
% 63,86 konveksiyon % 36,14 radyasyon.

13. Nuktada: $Q_{kon}=65644,8$ kcal/h ve $Q_{nr.}=32513,58$ kcal/h
% 66,87 konveksiyon % 33,13 radyasyon.



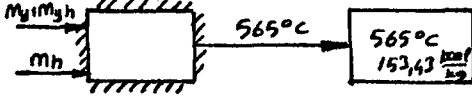
Şekil 26. Isı Transfer yüzdelерinin mesafeye göre değışimi.
(Pırın bölgeleri üzerinde de verilmiştir.).



Şekil 27. Isı Transfer Miktarlarının Mesafeye Göre Değişimi

III.9. Yakıt Miktarlarının Hesaplanması

1. Bölgede



$T=15\text{ C}$ kabul edilerek,

$C_{pg}=0,265\text{ kcal/kgC}$

$$Q_{mal} + Q_k = m_g \cdot C_{pg} \cdot (565 - 550)$$

$t_{1mal}=470\text{ C}, t_{2mal}=550\text{ C}.$

$$Q_{mal} = m_{mal} \cdot C_{pmal} \cdot (t_2 - t_1)_{mal}$$

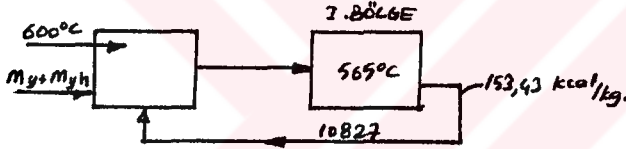
$C_{pmal}=0,175\text{ kcal/kgC}$

$m_{mal}=2704,58\text{ kg/h}.$

$$Q_{mal} = 2704,58 \cdot 0,175 \cdot (550 - 470) = 37864,12\text{ kcal/h}.$$

$$Q_k = 5173,2\text{ kcal/h}.$$

$m_g = 10827\text{ kg/h}$ 'tır. Bu miktarı 1. Bölgeden çıkıştı geri çevirip yanma hücresine verirsek, sadece gazın giriş sıcaklığına yükseltmemiz gerekir. Böylece az yakıt yakarız.



600 C 'deki entalpi, $157,66\text{ kcal/kg}$ 'dir.

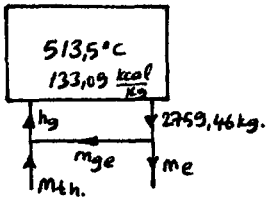
Yanma hücresi Enerji Dengesi:

Açık sistem için, $Q - W = M_{ç} h_{ç} - M_g h_g$

$$10827 \cdot (157,66 - 153,43) = m_y \cdot 10021,38 + 14,05 \cdot m_y \cdot 4,8$$

$m_y = 4,54\text{ kg/h}$ yakıt.

2. Bölgede



$$Q_{mal} = m_{mal} \cdot C_{pmal} \cdot (t_1 - t_2)$$

$t_1 = 550\text{ C}, t_2 = 520\text{ C}.$

$Q_{mal} = 14199\text{ kcal/h}$ ve $Q_k = 3851\text{ kcal/h}.$

$m_g = 2759,46\text{ kg/h}.$

$$Q_{mal} - Q_k = (m_e + m_{ge}) \cdot 133,09 - (m_h + m_{ge}) \cdot h_{giriş}.$$

$$10348 = 2759,46 \cdot 133,09 - 2759,46 \cdot h_{giriş}.$$

$h_{giriş} = 129,34\text{ kcal/kg}.$

Fanın enerji dengesi:

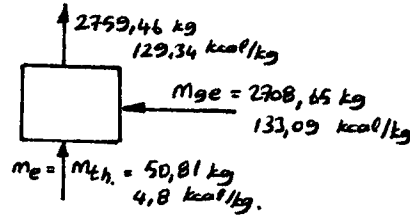
$$Q = .A.(513,5-20)=20.0,5.(493,5)=4935 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Debi}=6132,13 \text{ m}^3/\text{h} \quad P=50\text{mmss.}=50 \text{ kg/m}^2. \quad \eta=0,65. \quad \rho=0,45.$$

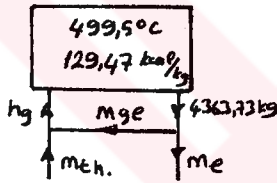
$$W = \frac{V \cdot \Delta P}{0,65 \cdot 102} = \frac{1,7 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 50}{0,65 \cdot 102} = 1,28 \text{ kJ/s} = 1104,76 \text{ kcal/h.}$$

$$-4935 + 1104,76 = 2759,46 \cdot 129,34 - m_g \cdot 133,09 - m_h \cdot 4,8$$

$$m_h = 2759,46 - m_{ge} \text{ den, } m_{gelen} = 2708,65 \text{ kg/h.}$$



3. Bölge



$$Q_{mal} - Q_k = m_g \cdot C_{pg} \cdot 15.$$

$$Q_{mal} = 2704,58 \cdot 0,175 \cdot (520 - 479)$$

$$Q_{mal} = 19405,4 \text{ kcal/h.}$$

$$Q_k = 3041,4 \text{ kcal/h.}$$

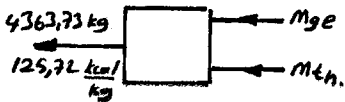
yukarıdaki bağıntıdan, $m_g = 4363,73 \text{ kg/h.}$

$$19405,4 - 3041,4 = 4363,73 \cdot 129,47 - 4363,73 \cdot h_{giris}.$$

$$h_{giris} = 125,72 \text{ kcal/kg.}$$

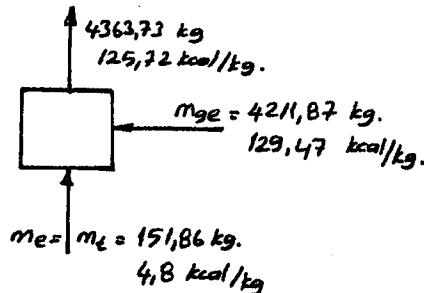
$$\text{Fan ısısı } Q = 18 \cdot 0,5 \cdot (499,5 - 20) = 4315,5 \text{ kcal/h.}$$

$$\text{Debi} = 2,69 \text{ m}^3/\text{s}. \quad W = 1747,04 \text{ kcal/h.} \quad \eta = 0,65 \text{ kabul edilerek.}$$

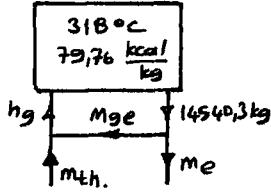


$$-4315,5 + 1747,04 = 4363,73 \cdot 125,72 - m_{ge} \cdot 129,47 - m_{th} \cdot 4,8.$$

$$m_{th} = 4363,73 - m_{ge} \text{ den, } m_{gelen} = 4253,07 \text{ kg/h ve } m_{th} = 110,65 \text{ kg/h}$$



4. Bölge



$$Q_{mal} - Q_k = m_g \cdot C_{pg} \cdot 15$$

$$Q_{mal} = 2704,58 \cdot 0,175 \cdot (479 - 359)$$

$$Q_{mal} = 56796,18 \text{ kcal/h.}$$

$$Q_k = 2270,04 \text{ kcal/h.}$$

Yukarıdaki bağıntıdan, $m_g = 14540,3 \text{ kg/h}$ bulunur.

$$56796,18 - 2270,04 = 14540,3 \cdot 79,76 - 14540,3 \cdot h_{giris}$$

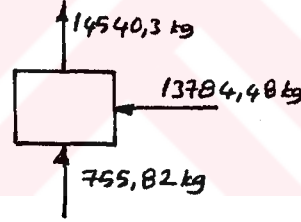
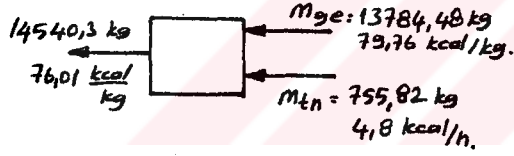
$$h_{giris} = 76,01 \text{ kcal/kg.}$$

Fan Isısı: $Q = 15 \cdot 0,5 \cdot (318 - 20) = 2235 \text{ kcal/h.}$ ve Debi = $6,73 \text{ m}^3/\text{s.}$ ve aynı verimle $W = 4364,9 \text{ kcal/h.}$

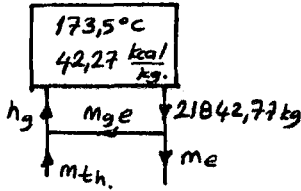
$$-2235 + 4364,9 = 14540,3 \cdot 76,01 - m_{ge} \cdot 79,76 - m_{th} \cdot 4,8$$

$$m_{th} = 14540,3 - m_{gelen} \text{ ve buradan, } m_{gelen} = 13784,48 \text{ kg/h.}$$

$$m_{th} = 755,82 \text{ kg/h.}$$



5. Bölge



$$Q_{mal} = 2704,58 \cdot 0,175 \cdot (359 - 190)$$

$$Q_{mal} = 79988 \text{ kcal/h.}$$

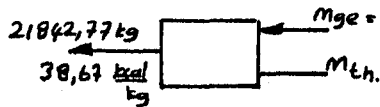
$$Q_k = 1354 \text{ kcal/h.}$$

$$Q_{mal} - Q_k = m_g \cdot 0,24 \cdot 15$$

$$m_g = 21842,77 \text{ kg/h.}$$

$$79988 - 1354 = 21842,77 \cdot 42,27 - 21842,77 \cdot h_{giris}$$

$$h_{giris} = 38,67 \text{ kcal/kg.}$$



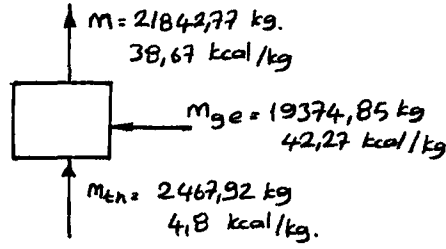
Fan ısısı: $Q=10.0,5.(173,5-20)=767,5$ kcal/h.

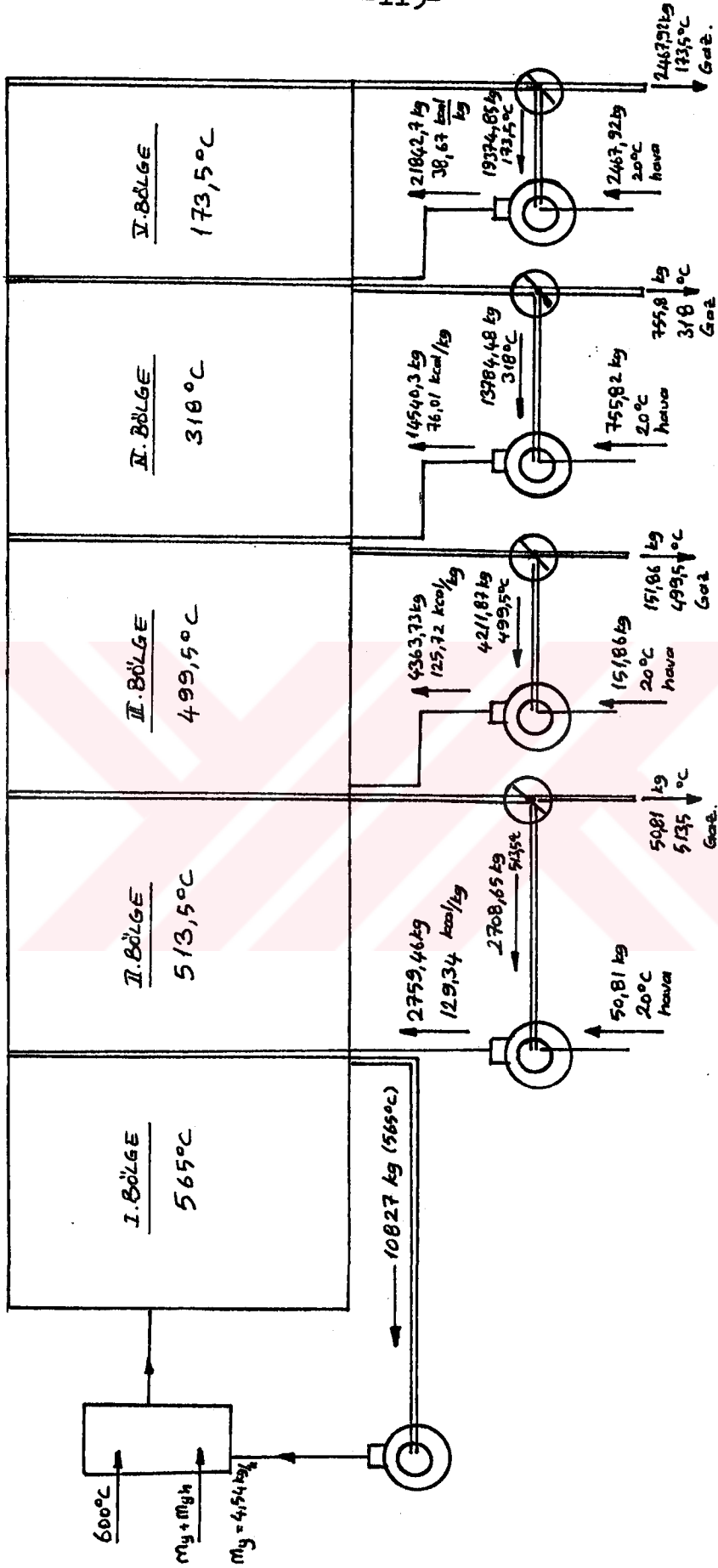
Debi= $7,58 \text{ m}^3/\text{s}$. Aynı verimle, $W=5,72 \text{ kJ/s}=4919$ kcal/h olarak bulunur.

$$-767,5 + 4919 = 21842,77.38,67 - m_{ge}.42,77 - m_{th}.4,8$$

$$m_{th}=21842,77-m_{gelen}$$

Yerine yazılırsa, $m_{gelen}=19374,85$ kg/h.





— Şişe Tavlama Fırını —

Kaynaklar

1. Kimyasal Proses Endüstrileri (R.1.)
R.Norris Shreve Joseph, A.Brink J.R.
Çev: İhsah Çataltaş.
2. Cam Yapı Malzemeleri (R.2.)
Prof.Nihat Toydemir
Şişecam Yayınları
3. Glass Furnaces.(R.3.)
Design,Construction, and operation
Society of Glass Technology
4. Anorganik Endüstriyel Kimya (R.4)
İ.T.Ü Kütüphanesi
İ.Ü. Yayınları.Prof.Dr.Ünal Sanigök (1987)
5. Meydan Larousse (R.5)
Cilt 2.
6. Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları.(R.6)
Prof.Dr.Kemal Onat
Doç.Dr.Osman Genceli
Doç.Dr.Ahmet Arısoy (1988). İ.T.Ü.Kütüphanesi.
7. Teknik Bülten Dergileri.(R.7)
Şişecam Yayınları
8. Y.T.Ü. Makina Müh.Bölümü.Isı Transferi Ders Notları.
9. Y.T.Ü. Fen Bil.Ens. Mak.Müh.Böl. İleri Isı Transferi
Ders Notları.
- 10.Isı Transferi Kitabı.(R.10)
Doç.Dr.Sadık Kakaç.
- 11.Y.T.Ü. Müh.Fak.Mak.Müh.Böl. Otomatik Kontrol Ders Not-
ları.
- 12.Cam Fırınları.Y.T.Ü. Kütüphanesi.
- 13.Cam Türleri.Y.T.Ü. Kütüphanesi.

—————○—————

Özgeçmiş

1970 Malatya ili, Arğuvan ilçesi Kuyudere köyü doğumluyum. İlk öğrenimimi Kadıköy Küçükbakkalköy ilkokulunda, orta öğreniminin ilk basamağını İçerenköy Ortaokulunda tamamladım. 1984 yılında girdiğim İstanbul Haydarpaşa Lisesinden 1987 yılında mezun olarak orta öğrenimimi tamamladım. Aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü kazandım. Ağustos 1991'de iyi derece ile mezun oldum. Aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nı kazandım. Halen bu bölümde yüksek lisans eğitimine devam etmekteyim.

Atila Şentürk

914302