

57464

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL FIRINLARDA  
ENERJİ TASARRUFU  
VE  
OTOMATİK KONTROL**

**Mak.Müh. Mehmet Akif DEMİRCİ**

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. İsmail TEKE**

**İSTANBUL, 1996**

<b><u>İÇİNDEKİLER</u></b>		<b><u>Sayfa No:</u></b>
<b>1.BÖLÜM : FIRINLARIN GRUPLANDIRILMASI</b>		1
<b>1.1. METAL MALZEMELER İÇİN ISITMA FIRINLARI</b>		2
1.1.1. Kuyu Fırımlar		5
1.1.2. İtme Fırımlar		6
1.1.3. Kaldırma Tabanlı Fırımlar		7
1.1.4. Döner Tabanlı Fırın		8
1.1.5. Makara Tabanlı Fırın		9
1.1.6. İtme Arabalı Fırın ve Tünel Fırın		9
1.1.7. Hızlı Isıtma Fırımları		10
1.1.8. Tambur Fırımlar		11
1.1.9. Hücre (MUFL) Fırımlar		11
1.1.10. Çan Tipi Fırımlar		12
1.1.11. Çekme Fırımlar		13
1.1.12. Sarsma Tabanlı Fırımlar		13
1.1.13. Kule Fırımlar		13
1.1.14. Kamara Fırımlar		14
<b>1.2. ERGİTME FIRINLARI</b>		14
1.2.1. Siemens-Martin Fırını		15
1.2.2. Hareketli Tabanlı Fırımlar		15
1.2.3. Potalı Ergitme Fırımları		16
1.2.4. İndüksiyon Ergitme Fırımları		16
<b>1.3. METAL KAPLAMA FIRINLARI</b>		17
1.3.1. Galvaniz Fırınları		17
1.3.2. Emaye Fırımları		18
<b>1.4. CAM ÜRETİM FIRINLARI</b>		19
1.4.1. Cam Ergitme Fırımları		19
1.4.2. Cam Pişirme Fırımları		19
<b>1.5. SERAMİK FIRINLARI</b>		20
<b>1.6. ENDÜSTRİ FIRINLARININ SINIFLANDIRILMASI</b>		20
<b>1.7. KULLANIM YERLERİNE GÖRE ENDÜSTRİ FIRINLARI VE ISIL DEĞERLER</b>		22
<b>2.BÖLÜM: FIRINLARDA ENERJİ TASARRUFU</b>		24
<b>2.1. FIRINLARDA KULLANILAN EN UYGUN ISI YALITIM MALZEMELERİ VE ISI KAYIPLARININ AZALTILMASI</b>		24
2.1.1. Monolitik Refrakterler		25
2.1.1.1. Plastikler		25
2.1.1.2. Refrakter Betonlar		25
2.1.1.3. İzole Betonlar		25
2.1.1.4. Düşük Çimentolu Betonlar		25
2.1.1.5. Püskürtmeler		26
2.1.1.6. Beton Refrakter Uygulaması		26
2.1.1.7. Refrakter Betonlarda Isı Kürü		27
2.1.2. Seramik Elyaf Ürünler		28

2.1.2.1. Seramik Elyaf Malzemelerle Elde Edilen Avantajlar	28
2.1.2.2. Seramik Elyaf Ürünler ve Bazı Özellikleri	30
2.1.2.3 Refrakter Veya Elyaf Malzemeli Olmasma Göre Fırın Isı Karşılaştırması Ve Ekonomiklik	31
2.1.2.4. Fırın Duvarları Isı Karşılaştırması	58
<b>2.2. FIRINLARDAKİ ATIK ISININ GERİ KAZANILMASI</b>	<b>59</b>
2.2.1. Reküparatörler	60
2.2.2. İç Reküparatörler	62
2.2.3. Rejeneratörler	63
2.2.4. Reküparatör veya Rejeneratörlü Olmaları Durumuna Göre Fırınların Enerji Sarfıyatı Karşılaştırmaları	64
2.2.5 Bir Tünel Fırın Ait Reküparatör Hesabı Ve Dizaynı	68
2.2.5.1 Isıl Hesaplar	68
2.2.5.2 Dizayn Ve Ekonomiklik Hesapları	71
<b>2.3. OTOMATİK KONTROL</b>	<b>74</b>
2.3.1. Açık-Kapalı (ON-OFF) Kontrol	74
2.3.2. Oransal (Proportional) Kontrol	77
2.3.3. Oransal+Integral Kontrol	82
2.3.4. Oransal+Türevsel Kontrol	83
2.3.5. Oransal+Integral+Türevsel Kontrol	84
<b>3.BÖLÜM: ELEKTRİK REZİSTANS TİP ISITMALI BU 300 TİP POTALI ALÜMİNYUM ERGİTME FIRINI DİZAYN VE HESAPLARI</b>	<b>85</b>
<b>3.1. DİZAYN BİLGİLERİ</b>	<b>85</b>
3.1.1. Konstrüksiyon	85
3.1.2. İzolasyon	85
3.1.3. Elektrik Rezistans Devresi	86
3.1.4. İç Dizayn	86
<b>3.2. FIRIN HESAPLARI</b>	<b>87</b>
3.2.1. Fırın Gücünün Hesabı	87
3.2.2. Rezistans Sistemi Hesapları	90
<b>SONUÇ</b>	<b>96</b>

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bana göstermiş olduğu yakın alaka ve yardımlarından dolayı başta hocam Prof. İsmail Teke'ye ve Teknotherm Ltd.Şti. Genel Müdürü Lütfi Akalın'a teşekkürü borç bilirim.



## ÖZET

Bu çalışmada üç bölüm altında endüstriyel fırnlara ait incelemeler ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaçla 1.Bölümde öncelikle değişik endüstriyel fırınlar; metal malzemeler için ısıtma fırınları, ergitme fırınları, metal kaplama fırınları, cam üretim fırınları ve seramik fırınları genel başlıkları altında incelenerek konstrüksiyon ve çalışma sistemleri anlatılmıştır.

2.Bölümde fırnlarda enerji tasarrufunu arttırabilecek yöntemler üzerinde durulmuştur. Bu nedenle öncelikle refrakter ve izolasyon malzemeleri incelenerek en uygun enerji tasarrufu sağlayan ürünlerin özellikleri ve kullanım yöntemleri açıklanmıştır. Daha sonra fırınların ısı bilançosunda önemli yer tutan atık ısıların geri kazanım üniteleri incelenerek bu yolla enerji tasarrufu anlatılmıştır. Son olarakda otomatik kontrol üniteleri genel olarak incelenerek fırnlara ihtiyaç fazlası enerji yerine ihtiyaç duyulan enerjinin en uygun hangi kontrol sistemi ile sağlanabileceği anlatılmıştır.

3.Bölümde ise halen çalışmakta olduğum işyerinde, dizaynı ve imalatı sorumluluğum altında gerçekleştirilen 300 kg'lık potalı ve elektrik direnç ısıtmalı Alüminyum ergitme fırınına ait dizayn esasları, ısı hesapları ve rezistans devresine ait hesaplama yöntemi bir örnek olarak verilmiştir.

## SUMMARY

In this project, investigation and calculations about industrial furnaces are being introduced. In this respect, firstly construction and working principles of some industrial furnaces were introduced in section 1 by investigating them under some main titles such as heating furnaces for metals, melting furnaces, coating furnaces, glass production furnaces and ceramic furnaces. In section 2, Improving methods of the energy saving in industrial furnaces are being explained. In order to do this, by investigating the most suitable refractory and insulation materials for energy saving, their principles and application methods were explained. Then saving system of waste-heat which has great importance for the heat balance in the furnace was examined. In the end of the section 2, by examining the automatic control units in general the best control systems for furnaces in order to supply exact needed energy to the furnace were explained. Besides, in the last section, as an example, design factors, thermal calculations and resistance system calculations of a crucible furnace for aluminium melting which has crucible of 300 kg Aluminium (BU 300) and which is heated by electric rezistans were given.

## BÖLÜM I

### 1. FIRINLARIN GRUPLANMASI

İçerisine yerleştirilen ya da sürekli olarak yüklenen malzemeleri ekonomik bir şekilde ısıtmak suretiyle, işlem sıcaklığına yükselten ve bu sıcaklıkta gereken süre boyunca tutan teknik ünitelere, fırın ya da ocak adı verilmektedir. Sadece kurutma amacıyla kullanılan küçük tip fırınlara ise etüv adı verilmektedir.

Endüstriyel fırınlarda enerji gereksinmesi, ya katı, sıvı veya gaz yakıtların yakılması suretiyle kimyasal enerji olarak ya da elektrikten direnç, ark veya indüksiyonla ısıtma farzında fiziksel enerji olarak karşılanır. Enerji sağlama yönteminin seçiminde, gerçekleştirilmek istenen ısıl prosesin yanında birim malzeme miktarı için gerekli ısı maliyeti ve enerji temin etme olanakları da önemli rol oynar.

Konstrüksiyon açısından ise fırınları, düşey fırınlar ve yatay fırınlar olarak gruplara ayırmak mümkündür. Yüksekliği, çapı yada genişliğine nazaran küçük veya eşit olan Yüksek Fırın, Kupol Ocağı ve Çan tipi tavlama fırını benzerlerine düşey fırınlar denmektedir. Buna karşılık yüksekliği fazla olmayan yatay kesitli oldukça büyük İtme Fırın, Kamara ve Tünel Fırınlar, Siemens-Martin ergitme fırınları ise, yatay fırınlar olarak adlandırılmaktadır.

Fırınların çalıştırılması, sürekli ya da kesintili olabilmektedir. Sürekli çalışmada, hiç ara verilmeksizin, fırında arıza olunçaya kadar günlerce çalışma devam eder. Kesintili çalışmada ise, periyodik çalışma tarzında yada herhangi bir programa bağlı kalmaksızın, rastgele çalışma yapılır. Sürekli çalışmaya nazaran, kesintili çalışmada ısı kaybı daha büyüktür, fırın verimi azdır ve fırının ömrüküsadır.

Fırınları kullanma amacına göre ise ergitme ve ısıtma fırınları olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür.

Genel kullanma yerleri şöyle sıralanabilir.

- 1- Demir ve diğer metal ve alaşımlarının ergitme ve rafinasyon fırınları
- 2- Metallerin sıcak şekillendirilmesi için ısıtma fırınları
- 3- Metallerin ısılı şişlemleri için fırınlar
- 4- Cevher hazırlamada zengileştirme, toplama v.b fırınlar
- 5- Seramik, çimento tuğla v.b üretiminde kullanılan fırınlar
- 6- Emaye v.b diğer kaplama yöntemlerinde kullanılan fırınlar
- 7- Cam endüstrisinde kullanılan fırınlar
- 8- Kimyasal tesislerde ve plastik üretiminde kullanılan fırınlar
- 9- Laboratuvar fırınları
- 10- Kağıt, tekstil ve diğer endüstri dallarında kullanılan fırınlar
- 11- Kok havagazı gibi yakıt üretiminde kullanılan fırınlar

### 1.1. Metal Malzemeler için Isıtma Fırınları

Bu fırınlarda ısıtma, müteakiben yapılacak sıcak şekillendirme için tavlama ya da sertleştirme, menesiş, ıslatı, yumuşak tavlama normal tavlama, gerilim giderme tavlama, sementasyon, nitrasyon temperleme gibi ısılı şişlemlerin gerçekteştirilmesi için yapılır. Fırın tipinin belirlenmesinde amacın gerçekteşmesi için, şişlem sıcaklığına ısıtılacak parçaların formu, büyüklüğü ve miktarı, fırın kapasitesi, tavlama hatalarını en aza indirmek, ekonomik çalışma gibi birçok faktörün bir arada düşünülmesi gerekir.

Sıcak şekillendirme için yapılacak tavlama şişlemlerinde tavlama fırını olarak büyük kapasitelerde kuyu tipi fırınlar ve itme fırınlar, daha az kapasitelerde ise arabalı tamburlu, döner tabanlı ve çan tipi fırınlar kullanılabilir. Ayrıca, hızlı ısıtma yapan özel fırınlar ve indüksiyon ısıtmada yapılabilmektedir.

Sertleştirme için tavlama şişlemlerinde ise fırın atmosferini kaldırdığı için daha çok tuz banyosu kullanılmaktadır.

Diğer ısılı şişlem fırınlarında ise, ısıtma esnasında fırın atmosferinin zararlı etkilerinden parçayı koruyacak tarzda nötr atmosferde yada vakum içersinde ısıtma

yapılmalıdır. Ayrıca, fırında kontrollü difüzyon sağlanarak sementasyon nitrasyon gibi ısı işlemler de yapılabilir.

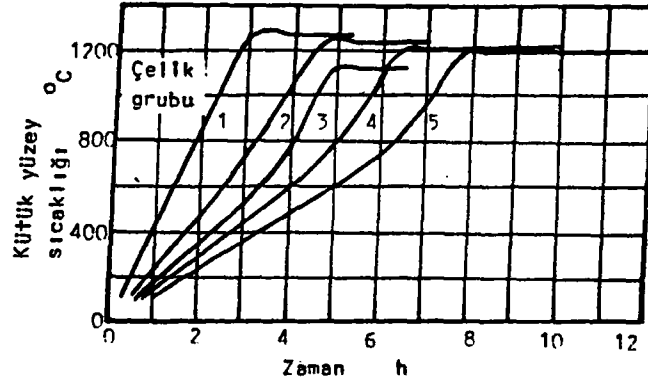
Isıtma fırınlarında ısıtma hızı, ısıtma süresi ve ısıtma sıcaklığı malzemenin analizine, formuna, üretim tarzına, boyutlarına, ısıtma tarzına ve ısıtma amacına göre değişmektedir.

Malzeme analizine bağlı olan ısı iletme kabiliyeti ne kadar düşük parça boyutları ne kadar büyük ise, ısıtma hızı o kadar yavaş seçilmelidir. Metal malzemelere örnek olarak cetvel 1.1 ve şekil 1.1 de çeliklerin ısıtılma grupları ve süreye bağlı olarak haddeleme veya dövülmesi için ısıtılmalarında süreye bağlı olarak yüzey sıcaklıkları verilmiştir.

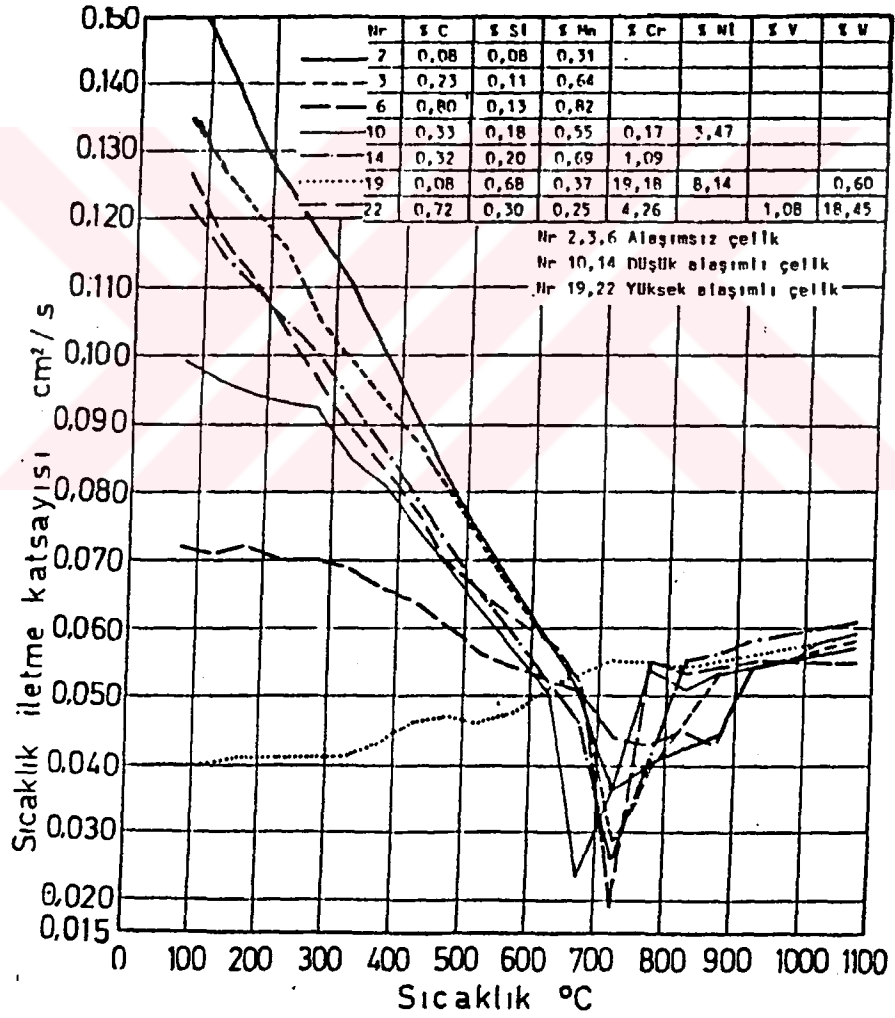
Ayrıca şekil 1.2-şekil1.3 ve şekil 1.4 de değişik çelikler için sıcaklık iletme katsayıları, ısıtma koşullarına bağlı ısınma seyri ve fırın tiplerine göre ısıtma süreleri ilgili örnekler verilmiştir.

Çelik grubu	Çelik çeşidi	Isıtma tarzı
1	Karbon miktarı % 0,4'e kadar alaşımsız çelikler, alaşımli sementasyon çelikleri	Isıtma hızı yüksekçe, iç ısıtmada diğerlerine nisbeten daha kısa süre
2	Karbon miktarı % 0,4-0,7 arasında alaşımsız çelikler, Karbon miktarı % 0,4'e kadar düşük ve orta alaşımli imalat çelikleri	Isı iletme kabiliyetleri ve plastislikleri düşüktür. 600°C ye kadar 1. gruba girer daha uzun süre, daha yüksek sıcaklıklarda aynı ısıtma hızı. Dengeleme süresi daha uzun.
3	Ötektoid ve ötektoid üstü alaşımsız çelikler, düşük ve orta alaşımli takım çeliği	Isı iletme kabiliyeti ve plastisliğin düşüklüğünün yanında, karbon azalma tehlikesi vardır. 600°C ye kadar yavaş, daha sonra hızlı ısıtma. Sıcaklık dengelemesi kısa tutulmaya çalışılır.
4	Yüksek alaşımli imalat ve takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri, ferritik ve fazla alaşım elemanı ihtiva etmeyen östenitik çelikler	Isıtma koşulları 3. gruba benzer, ancak kötü şekli değişebilirlik nedeniyle daha uzun dengeleme süresi
5	Hız çelikleri, alaşım elemanı ihtiva eden ferritik, östenitik ve martenzitik paslanmaz çelikler, subap çelikleri, ısıya dayanıklı çelikler, döküm mangan sert çeliği	Isıtma koşulları 4.gruba benzer, daha uzun dengeleme süresi

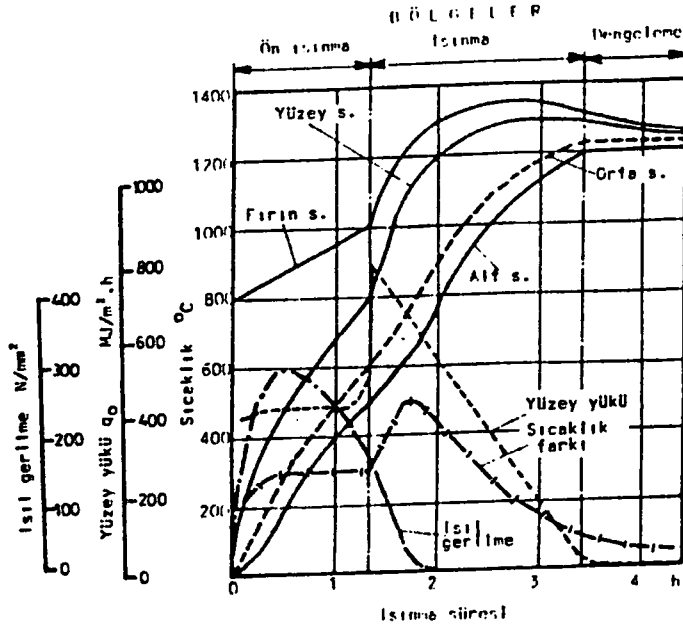
Cetvel 1.1: Isıtma gruplarına göre çelik çeşitlerinin sınıflanması



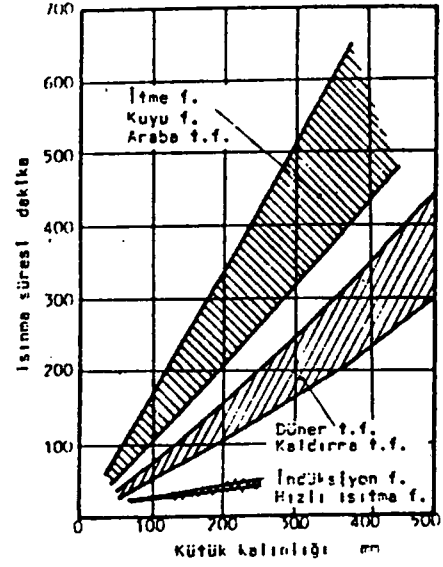
Şekil 1.1: Cetvel 1.1 de verilen çelik grupları için 500 mm çapındaki kütüklerin ısınma eğrileri



Şekil 1.2: Farklı çeliklerin sıcaklık iletme katsayıları



Şekil 1.3.: 400 mm kalınlığındaki düşük alaşımlı çeliklerin ısıtma koşulları



Şekil 1.4.: Farklı fırınlarda blok kalınlığına bağlı olarak ısıtma süreleri

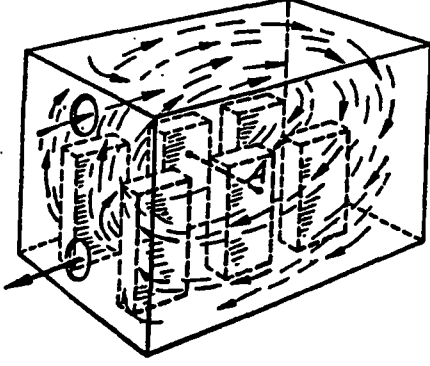
### 1.1.1. Kuyu Fırınları

Muhtelif yöntemlere göre ve kokil içerisine blok yada kütük halinde dökülmüş çelik malzemelerin kokilden sıcak olarak çıktuktan sonra yada soğumuş halde iken ısıtılarak sıcak şekillendirme sıcaklığında sıcaklık dengelemesi için kullanılan fırınlara kuyu fırınlara kuyu fırın veya kuyu ocak adı verilmektedir. Döküm ve hadde tesisleri arasında sürekli imalatı gerçekleştirecek şekilde yerleştirilirler. Fırının taban genişliği yüksekliğine göre oldukça azdır.

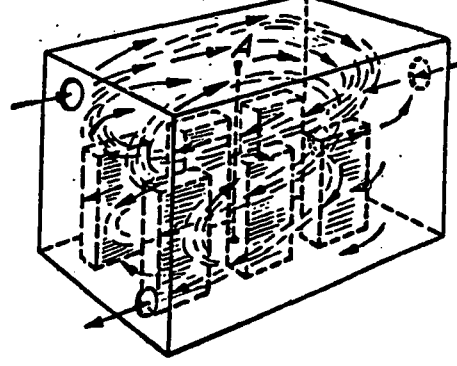
Kuyu fırın tesisleri yükleme durumuna göre "sıcak" ve "soğuk" olarak iki farklı işletme durumunda, konstrüksiyon bakımından ise "Büyük Hacimli" ve "Hücre tipi" olarak yine iki gruba ayrılabilirler.

Büyük hacimli fırınlarda bir yada daha fazla bek, kapağın altından fırın hacmine püskürtülerek direkt ısıtma sağlanır. Beklerin püskürtme doğrultusuna göre tek yönlü ya

da iki yönlü çalışan fırın olacak adlandırma yapılır. 3 tondan daha hafif küçük kütüklerin ısıtılmasında ise hücre tipi kuyu fırınlar kullanılır.



Şekil 1.5: Tek yönlü kuyu fırında gaz akımı (A ekseniyatay)

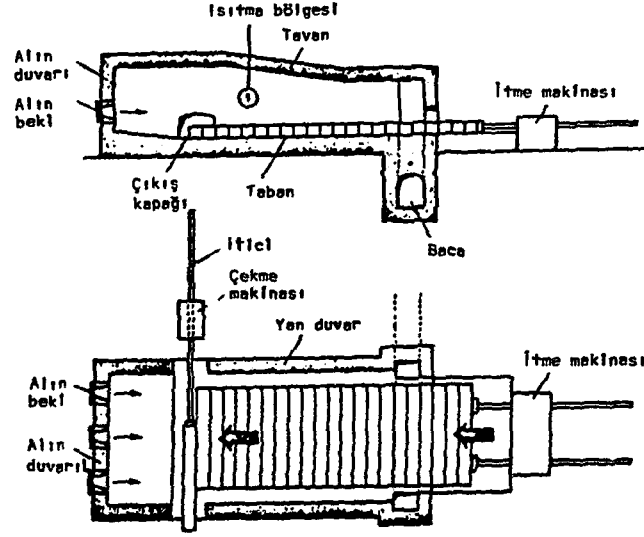


Şekil 1.6: İki yönlü kuyu fırında gaz akımı (A eksen Düşey)

### 1.1.2. İtme Fırınlar

Bu fırınlar çeliklerin haddelenmesinde, hadde bandı üzerine yerleştirilen ve çelikleri 1150-1300°C arasında olan sıcak şekillendirme sıcaklığına ısıtılmasında kullanılan sürekli çalışan fırınlardır. Ham malzemenin dövme yada presleme için hazırlanmasında da itme fırınlardan yararlanır. Saatteki kapasite ve fırının büyüklüğü 1 t/h ile 250 t/h gibi çok geniş sınırlar arasında değişir. Parça ağırlığının çok artmasıyla, fırın içerisinde itme zorlaşacağı için 500 mm'den daha kalın parçalarda itme fırın kullanılmaz itme fırınlar ısıtma tarzına göre sadece üstten ısıtmalı "tek yönlü ısıtmalı" ve hem üstten hem alttan ısıtmalı "çift yönlü ısıtmalı" olarak iki gruba ayrılırlar. Çift yönlü ısıtmada parçaların hem daha hızlı hemde homogen ısıtılması sağlanır.

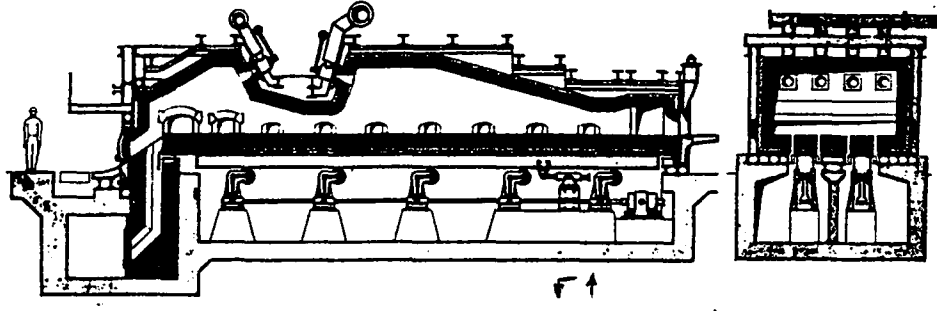
Şekil 1.7 de 2,5 t/h kapasiteli küçük tip bir itme fırın görülmektedir.



Şekil 1.7 : Üstten ısıtmalı bir bölgeyi itme fırın

### 1.1.3. Kaldırma Tabanlı Fırınlar

İtme fırınlarda olduğu gibi çelik kütüklerin sıcak şekillendirilmesi amacıyla ısıtmak için kullanılan bu fırınlarda, parçaların fırın içerisindeki hareketi kaldırma taban yada kaldırma kirişler yardımıyla olmaktadır. Bu gruba giren fırınlar Şekil 1.8 de ki gibi üç sabit taban ve iki kaldırma tabandan oluşabileceği gibi bir sabit, bir hareketli kısımdanda oluşabilirler. Hareketli kısımlar sağ ve solundan sabit tabanla sınırlanmış durumdadır ısıtılan parçaların boyu kaldırılabilen hareketli tabandan daha geniştir. Kaldırma tabanı alt konumda iken, parçanın yan kısımları sabit tabana oturur. Hareketli taban yukarı kalktığında parçaya ilerleme hareketi yaptırılır. Yatay ve düşey hareketler iki hidrolik silindir tarafından sağlanır. Bu fırınlarda parçalar arası mesafe (s) büyümesiyle, radyasyon açısı büyüyeceğinden daha iyi ısınma sağlanır, ancak bu durumda fırın tabanından yararlanma oranı azalacaktır. Optimum aralık  $s/h = 0,5 \sim 0,7$  şeklindedir. İtme fırınlara nazaran ısınma hızı fazla olmasına karşın aynı kapasite için daha uzun fırına ihtiyaç vardır.



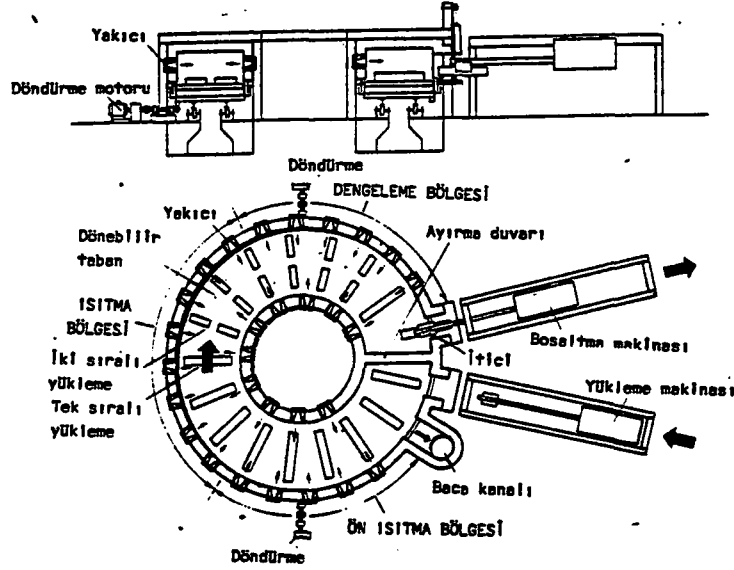
Şekil 1.8.: Kaldırma tabanlı fırın

#### 1.1.4. Döner Tabanlı Fırın

Döner tabanlı fırınlar boyu uzun olmayan, form olarak itme fırınlarında ısıtılması güç parçaların sıcak şekillendirme için ısıtılması amacıyla kullanılır. Döner tabanlı fırınların daha çok kullanıldığı yerler dövme, yuvarlak dövme parça ve boru hadde imalatıdır.

Şekil 1.9 da şematik olarak fırın konstrüksiyonu gösterilmektedir. Fırın tabanla bağlantısı olmayan halka formundaki üst kısım ve bu sımila arasından gaz geçmesi önlenmiş döner tabandan meydana gelir. Döner tabanda halka formundadır ve temele yerleştirilmiş raylar üzerinde hareket edebilen makaralara oturur. Tabanın döndürülmesi, fırın büyüklüğüne göre, tabanın altına çevresel olarak yerleştirilmiş dişliyi tahrik eden iki yada dört elektrik yada hidrolik motorla yapılır.

Fırının üst kısmı ile taban arasından gaz kaçmasının önlenmesi su ile soğutulan, çevresel oluk içine kum doldurularak yapılan ve tabana yada fırın yan duvarına bağlanan (özel uygulama olarak temelede bağlanabilen) daldırma salmastra ile yapılır. Baca gazları, tabanın dönme yönünün tersi yönde ilerleyerek yükleme kapağının yanından bacaya gider. Bu sırada uygun ısı dağılımı sağlanabilmesi için fırın üzerinde dört veya altı bölgede otomatik yakıt ayarlaması yapılır.



Şekil 1.9.: Halka formulu döner tabanlı fırın

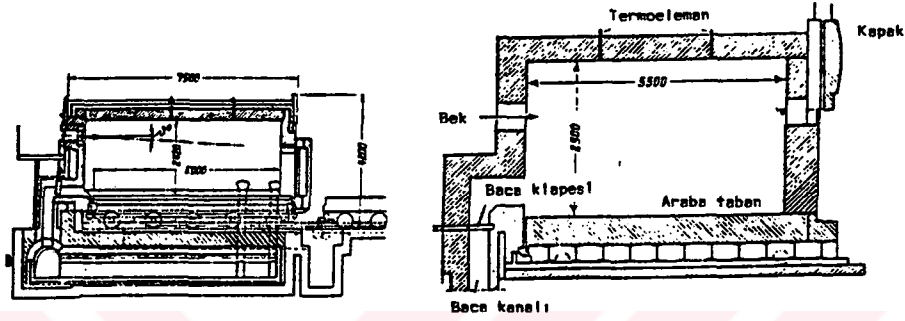
### 1.1.5. Makara Tabanlı Fırın

Bu tip fırınlarda ısıtılan malzeme makaralar üzerinde taşınır. Taşıma makaraları fırın içerisine yerleştiğinde makaraların yapıldığı çelik malzemelerin sıcaklığa karşı dayanıklılığı sınırlı olduğundan fırın sıcaklığı 1100°C'yi geçemez. Daha yüksek sıcaklıklara ancak makaraların fırın dışına alınması ile çıkmak mümkün olur. Makaraların tamamı döndürülebileceği gibi bir kısmı da döndürülebilir. Döndürme işlemi dıştan zincir veya dişli vasıtasıyla tek yada çift taraflı olarak yapılabilir. Makaraların ömrünü artırmak için makara ve döndürme düzeninin tamamını fırın dışına alma uç sığağa dayanıklı çelikten yapılan makaralarda su ile soğutma yapma işlemleride uygulanabilir.

### 1.1.6. İtme Arabalı Fırın ve Tünel Fırın

İtme arabalı fırınlar fırın tabanının fırının dışında yüklendiği fırınlardır. Taban raylar üzerinde yürütülebilen arabaların üzerine ateş tuğlaları ile örülerek veya yüksek sıcaklığa dayanıklı harçtan dökülerek beton halinde oluşturulur. Bu fırınlar dövülecek, pres edilecek büyük boyutlu parçaların sıcak şekillendirme için ısıtılmasında çelik ve dökümde gerilim giderme, yumuşatma tavlama, temperleme gibi ısıl işlemlerde ve pişirme, kurutma işlemlerinde kullanılır. Normal fırınlarda işlem sonrası araba geri alınır, tünel fırınlarda ise fırının her iki dar kenarında da kapı olduğu için arabalar daima ya ileri

doğru itilir ya da çıkış tarafından çekilir. Arabaların hareketi küçük fırınlarda el ile yapılırken byk fırınlarda tel ya da fırının altında tüm araba boyunca yapılan zincir dişli tertibatı ile sağlanır. Araba boyunun uzatılması yerine çok sayıda araba kullanılması ısıl gerilmelerden dolayı oluşabilecek araba üzerindeki deformasyonları minimuma indirecektir. Bu fırınlarda ısıtma gaz ya da akaryakıt ile olabileceği gibi elektrikli veya radyasyon borulu sistemle de yapılabilir.

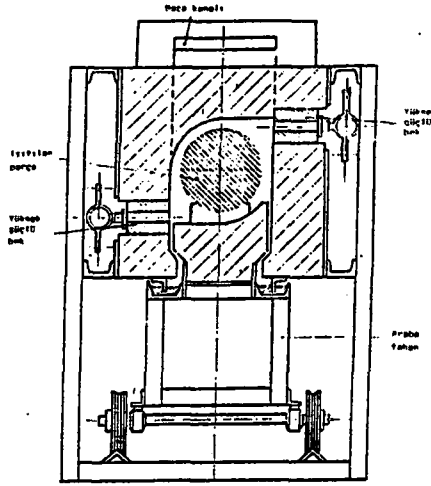


Şekil 1.10 : Araba tabanlı fırın

#### 1.1.7. Hızlı Isıtma Fırınları

Kısa sürede yüksek sıcaklığa ulaşılması gereken işlemler de kullanılan fırın tipleridir. Hızlı ısıtma gaz, akaryakıt veya elektrik enerjisi ile sağlanabilmektedir.

Gaz ya da akaryakıtla ısıtılan fırınlarda parçaların ısınma radyasyon ve konveksiyon ile olmaktadır. Fırında gaz akımını arttırabilmek için yüksek hızlı bekler geliştirilmiş ve fırın hacmi küçültülmüştür. Gazların hızının arttırılması ile yüksek sıcaklıklardaki kinematik vizkozite artmakta ve ısı transferi için önemli olan Reynold sayısı küçülmektedir. Şekil 1.11 de araba tabanlı hızlı ısıtma fırınına örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.11 : Araba tabanlı hızlı ısıtma fırını

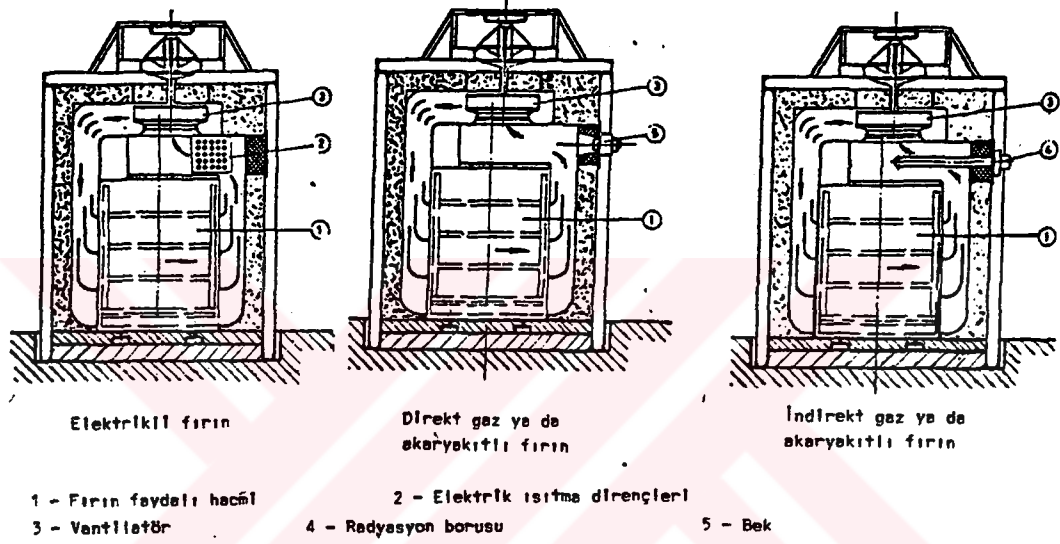
#### 1.1.8. Tambur Fırınlar

Soğuk şekillendirilmiş perçin, pim gibi küçük parçaların gerilim giderme tavlamasında yada  $850-900^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan diğer ısı işlemlerde tambur fırınlar kullanılır. Tavlama makara yada dişli tertibatıyla sürekli döndürülen tambur içerisinde meydana gelir. Malzeme ya eğimli olarak yapılan tambur içerisinde kendi ağırlığı ile yada yatay ekseninde yapılan ancak içinde helisel yivler bulunan tamburun dönmesi ile fırın içinde gaz akımına ters yönde ilerler. Tamburun dışında izolasyon malzemesi ve sac kaplama içinde ise eğik fırınlarda tuğla, yatay fırınlarda çelikten yapılmış itme helisi mevcuttur. Bu tip fırınlarda yakıcı bek fırınının sol alın tarafına yerleştirilir gazlar parçaların hareket yönüne ters yönde ilerlerler.

#### 1.1.9. Hücre (MUFL) Fırınlar

Sementasyon, nitrasyon gibi ısı işlemlerde ısı proses için reaktif gaz ortama, diğer bazı ısı işlemlerde ise nötr ortama yada koruyucu gaz ortama gerek vardır. Böyle durumlar için geliştirilmiş fırınlara hücre fırın ve radyasyon borulu fırın adı verilmektedir. Hücre fırınlarda hücreler dıştan beklerle ya da elektrik direnç elemanlarla ısıtılırken radyasyon borulu fırınlarda ise içerisinden sıcak gaz veya  $300^{\circ}\text{C}$  ye kadar olan düşük sıcaklıklarda kızgın yağ geçen borular fırın içerisine döşenmiştir. Bu nedenle aynı fırın

faydalı hacmi için, hücre tipi fırınlarda dış hacim radyasyon borulu fırınlara nazaran daha fazladır. Her iki tip fırında atmosfer önemli olduğu için atmosfer kontrol ve ayarı genel de otomatiktir. Bu fırınlarda gaz kaçmasını önlemek için sızdırmazlık sağlanması gerektiği gibi, homojen sıcaklık dağılımı için ayrıca hava sirkülasyonu da yapılmalıdır. Bunun yanında basınç ayarlaması yapılmak suretiyle vakum altında parlak tavlama işlemleri içinde yine bu tip fırınlar uygundur.



Şekil 1.12.: Elektrikli, direkt gaz yada akaryakıtlı ve indirekt gaz yada akaryakıtlı ısıtılan radyasyon borulu fırınlar

#### 1.1.10. Çan Tipi Fırınlar

Bu fırınlarda yan duvarlar ve fırın tavanı yekpare olarak yapılır, taban ise ayrıdır. Konstrüksiyon olarak iki gruba ayrılırlar. Birincisinde çan şeklinde olan üst kısım sabit durumdadır, taban hidrolik sistemde aşağı alınır ve yükleme yapıldıktan sonra tekrar yukarı alınarak ısı verilmeye başlanır. İkinci tipte ise taban sabittir üst kısım yukarı alınarak taban yüklenir daha sonra üst kısım tekrar kapatılarak ısı verilmeye başlanır. Her iki konstrüksiyon şeklinde de alt ve üst kısım arasında çok iyi sızdırmazlık sağlanmalıdır. Daha çok ısıl işlemlerde kullanılan bu tip fırınlar ısıtma sıcaklığına göre de iki gruba ayrılırlar.

### 1.1.11. Çekme Fırınlar

Isınacak parçaların fırın içerisinde sürekli hareket etmeleri söz konusu olduğunda çekme fırınlar kullanılabilir. Bu fırında parçalar fırın dışarısından sürekli olarak çekilirler. Fırın genişliği ve yüksekliği oldukça küçük fakat boy çok uzundur. Malzeme yönlendirici makaralar ile fırın içerisine sevk edilir. Fırın çıkışında bulunan çekme makaralarından sonra yerleştirilen sıcak banyo ile de ısınmış tel malzemenin ısı işlemi uygulanmaktadır. Aynı fırın, hadde tesislerinde çekilen tel malzeme soğuduğunda sıcaklığın şekillendirme sıcaklığına yükseltmek için ara tavlama amacıyla da kullanılabilir.

### 1.1.12. Sarsma Tabanlı Fırınlar

Bu fırın tipinde ısınan parçaların fırın içerisindeki hareketi sarsma tabanla sağlanmaktadır. Sarma tertibatı fırın dışına parça girişi tarafına yerleştirilmiştir. Özellikle küçük parçaların ısı işlemlerinde ya da korozyona dayanıklı boyama işlemlerinde bu fırınlardan yararlanılmaktadır. Isıtıcı bek sarsma tabanın alt tarafına tek ya da sıra yakıcılar olarak yerleştirilir. Alev ve baca gazları parçaları ilerleme yönüne ters yönde hareket ettirilerek hatalı hava girişi önlenmesi gibi yeni konmuş parçalarda ön ısıtma sağlanır.

### 1.1.13. Kule Fırınlar

Boyu kesitine nazaran çok uzun olan çubuk formundaki parçaların ısıtılması ve gerilim giderme tavlama esnasında yatay yüklemelerde meydana gelen eğilme tarzındaki deformasyonun önlenmesi amacıyla geliştirilen çubukların içine düşey olarak yerleştirilebildiği fırın tipidir. Yükleme ve boşaltma fırın üst kısmında bulunan kapaktan gerçekleştirilir. 900°C yi genellikle geçmeyen bu tip fırınlarda ısıtma, parçalarda yüzey oksidasyonu sorun teşkil etmiyorsa gaz ya da akaryakıtla direkt olarak; yüzey koruması gerekli ise elektrik direnç veya radyasyon boruları ile yapılır.

#### 1.1.14. Kamara Fırınlar

Fırın tabanı yan duvarlar ve tavanı sabit olan dar duvarlardan birine fırın kapağı yerleştirilmiş olan diğer fırınlara nazaran daha küçük boyutlarda olan fırınlardır. Bu tip fırınlar gaz, akaryakıt, radyasyon borusu yada elektrik dirençle ısıtılabilir. Gaz yada akaryakıt kullanımında alev temasının malzeme üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak beklerin yeri tespit edilir ve bölgesel ısınmayı önlemek için daha düşük kapasiteli daha fazla bek kullanılır. Elektrikli direnç ısıtmada ise fırın içerisinde sıcak hava sirkülasyonu sağlanarak verim artırılır.

#### 1.2. ERGİTME FIRINLARI

Cevher halindeki metalden ham metal elde etmek ham metalden rafinasyonla arık metal elde etmek ya da arık metallerin veya alaşımların birlikte ergitilmesiyle yeni metal malzeme üretmek için kullanılırlar. Konstrüksiyon açısından da genel olarak, düşey ve yatay çalışan fırınlar şeklinde iki ana grubu ayırmak mümkündür. Düşey fırınlarda, yüksek fırın ve kupol ocağında olduğu gibi fırın yüksekliği ocak kesitine nazaran oldukça fazladır ve fırınların şarjı üstten olur. Eriyiğin üzeri şarj malzemesi ile doludur. Yatay fırınlarda ise fırın yüksekliği azdır ergiyiğin yüzey boyutları yüksekliğe nazaran çok genişir ya da takriben eşittir. Ergiyik yüzeyi normal atmosfer ya da alevle temas halindedir. Cevherden ham metal üretiminde daha çok düşey fırınlar rafinasyon ve alaşımlama işlemlerinde ise yatay fırınlar kullanılır. Ergitme fırını seçiminde, tesisin üretim kapasitesi, sürekli çalışıp çalışmadığı enerji temininde kullanılacak ısı kaynağının cinsi ve analizi cevher ya da metal cinsi, ergime derecesi, atmosferdeki gazlara ve refrakter malzemeye karşı ilgisi gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bölümde Siemens-Martin ocağı, döner tambur ocağı, potalı ergitme ocağı ve indüksiyonla ısıtılan elektrikli ergitme ocakları gibi genelde kullanımı yaygın olan ocaklar anlatılmıştır.

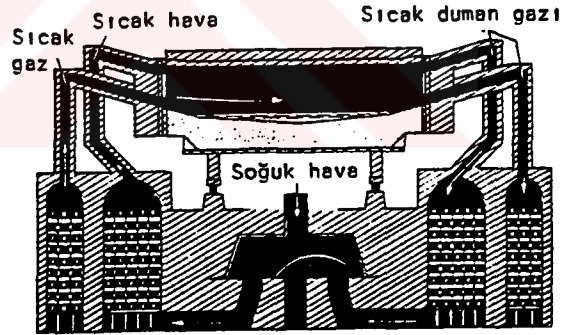
### 1.2.1. Siemens-Martin Fırını

Hamdemir, hurda ve cevherden, kireç taşı ilavesiyle, kalitei ve düşük alaşımli çelik üretimini sağlar. Oldukça geniş ergitme yüzeyine sahip yatay bir fırındır. Orta büyüklükteki bu tip bir fırında ergiyik derinliği yaklaşık 0,5 m, yüzey genişliği 5x15 m, herbir şarjda kapasite 100-300 ton şarj ve boşalma arası süre 6-10 saattir.

Fırında şarj kapakları ile cüruf ve ergiyik boşaltma kanalları taban hacminin uzun duvarlarında karşılıklı olarak bulunurlar. Gaz ve hava paralele yakın bir durumda birbirine 15° açı yapan kanallardan ergiyik üzerine üflenerek difüzyon alevi tarzında yanma sağlanır. Hava daima ısıtılır ve gaz hüzmesinin üstünden üflenir yakıcı kanallar birbirine karşı olarak iki yan duvardadır ve baca gazları dışarıya çıkarken üfleyci kanalların karşısında bulunan bölmeleri ısıtır. 20-30 dakika sonra gaz akımı yön değiştirerek, ısıtılmış bölmeden ters akım başlar ve böylece sıcak baca gazları az önce yakıcı kanal olan kanallardan dışarı çıkar. Bu yön değiştirme otomatik olarak yapılır.



Şekil 1.13: Siemens-Martin Fırını



Şekil 1.14.: Siemens-Martin Fırınında baca gazları akımı

### 1.2.2. Hareketli Tabanlı Fırınlr

Özellikle küçük kapasitelerde karşımıza çıkan bu tip fırınlar eğilebilir yada dönebilir tabanlı da olabilir. Eğilebilir tabanlı ocakta yakıcı bekten çıkan alevler, belirli bir açı ile ergiyik yüzeyini yalar. Hava fanı ve hava iletme boruları fırın üzerine monte

edilebilir ve fırında birlikte hareket edebilirler. Bu fırnlarda genellikle akaryakıt kullanılmakla birlikte elektrik direnç ile ısıtma da mümkündür. Döner tabanlı fırnlarda ise ergitme haznesi silindirik fiçi formundadır. 360° dönebilen tarzda olabileceği gibi küçük açılarda salınım yapan tarzda da çalışabilirler. Bu fırnlarda yakıt olarak gaz akaryakıt ya da pulverize yakıt kullanılabilir.

### 1.2.3. Potalı Ergitme Fırınları

Diğer ergitme fırınlarına göre daha düşük kapasiteli, metal veya metal alaşımın, ateşe dayanıklı potalar içerisinde bulunduğu fırınlardır. Metal ergiyik alevle direkt temas halinde değildir. Hatta ergiyik metal banyosunun istenmeyen gazları kolayca emmesi bazı önlemlerle gaz ile teması tamamen engellenerek önlenebilir. Bu fırnlarda pota ya fırınla birlikte sıkı bağlantılıdır ve boşaltmada fırın gövdesi de hareket eder ya da sadece kendisi hareket eder. Ancak birinci hal daha çok tercih edilir. Fırının kaldırılması ve eğilmesi, büyük fırnlarda hidrolik, orta büyüklükteki fırnlarda elektromekanik ve küçüklerde ise elle çalıştırılabilen mekanizmalarla sağlanır.

Potalı ergitme fırınlarında gaz ya da akaryakıt bekleri potanın altındaki dipçiği alevin yalayacağı biçimde eğimli yerleştirilirler ve alevin buradan sonra potanın etrafında dönerek yükselmesini sağlarlar. Ayrıca 1000°C nin altındaki uygulamalarda daha çok olmak üzere 1200°C lere kadarki uygulamalarda elektrik dirençli ısıtmada bu fırnlarda yapılabilir.

### 1.2.4. İndüksiyon Ergitme Fırınları

İndüktif fırınlar üç ana grupta toplanabilirler :

- 1) Şebeke frekanslı- bilezikli ergitme fırını
- 2) Şebeke frekanslı- potalı ergitme fırını
- 3) Orta frekanslı- potalı ergitme fırını

Şebeke frekanslı fırınlar, bir transformator aracılığıyla şebekeden beslenir. Bu tip de bir transformator çekirdeği ve bir primer sargı mevcuttur. Bileziğin içerisinde bulunan

metal ise sekonder sargıyı oluşturur. Bu ocakların üstün tarafı iyi güç faktörüne sahip olması sürekli çalışmada faydalı effektin yüksek olmasıdır. Buna karşılık bileziğin sürekli ergiyik ile dolu bulunması gereksinimi sakıncalı tarafıdır. Pres döküm imalatında sıcak tutma fırını olarak ve düşük basınçlı kokil döküm dökümhanelerinde ergitme fırını olarak kullanıldığı gibi özellikle demir olmayan metal dökümhanelerinde ergitme ve ya alaşımlama işlemlerinde faydalanılan bu fırınlarda kapasite 12 tonun üzerindedir.

Şebeke frekanslı-potalı ergitme ocaklarında ise pota primer sargı rolü oynar, transformatör çekirdeği yerine geçer. Potanın içerisindeki metal ise sekonder sargı durumundadır. Bu ocaklarda yüksek kaliteli çeliklerin dökme demirin, ferromanganın, bağlantı metalleri ve soy metallerin ergitilmesi ve sıcak tutma işlemi yapılabilir. Ayrıca yanma kayıpları çok azdır, eriyiğin karışımı çok iyidir ve alaşımlama da kalite yükselir. Fakat banyoda ısınma için gerekli enerji banyo hareketleri ile kısıtlanır.

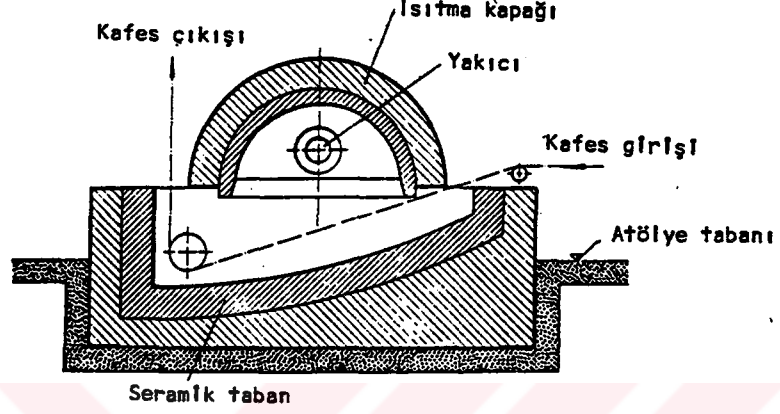
Orta frekanslı-potalı ergitme fırınları transformatör çekirdekli yada transformatörsüz olarak inşa edilebilirler. Bunlarda soguk hurda küçük parçalar halinde kullanılabilir. Buna karşılık talaşları örtülü tutabilmek için potada bir miktar ergiyik artık bırakılır. Banyo hareketi bu tipte oldukça az olduğundan banyoda daha büyük enerjiye gerek vardır yani orta frekansla üretim süresi daha hızlıdır. Son zamanlarda çift frekanslı çalışan fırınlar yapılarak ergitme orta frekans ile beklettme ve aşırı ısıtma şebeke freansı ile yapılabilmektedir.

### 1.3. METAL KAPLAMA FIRINLARI

#### 1.3.1. Galvaniz Fırınları

Galvaniz işlemi için üst kısımdaki kapaktan ısıtma yapılan seramik tanklı galvaniz fırınları diğer bir sistem olan ve zamanla ısıtma sonucu yanma yaparak aşınmaya maruz kalan demirden yapılmış tanklara göre daha efektif sistemlerdir. Seramik tanklı fırınlarda akma yapan çinkonun yanma tehlikesi olmadığından ilave bir damlama çukuruna ihtiyaç yoktur. Bu fırında çinko banyosu üzerinin bir kısmı içerisine yakıcı yerleştirilmiş bir ısıtma başlığı ile kaplıdır. Duman gazları ısıtma kapağından geçer ve bekin karşı

tarafından çıkar. Isı transferi konveksiyonun yanında ayrıca kapak yüzeyi boyunca radyasyon ile de gerçekleşir. Bu esnada kapağın sıcaklığı, 650 ila 900°C kadardır. İndüktif elektrik ısıtmada galvaniz tesisleri için kullanılabilir.



Şekil 1.15: Bir tel kafesi galvaniz fırını kesiti

### 1.3.2. Emaye Fırınları

Metalik yüzeylerin emaye ile kaplanmasında yakıtların duman gazlarının emaye yüzeyi ile temas etmemesi gerektiğinden, emaye için radyasyon borularıyla ısıtılan kamara fırınlar veya elektrik direnç ısıtmalı kamara fırınlar ya da makara tabanlı fırınlar daha uygundur. Banyo küvetleri için, çan kısmı sabit olan çan tipi fırınlarda kullanılabilir.

Daha çok küçük güçlerde ve 100 kg/h'e kadar ki kapasitelerde kullanılan makara tabanlı fırınlarda makaralar tünelin dışında yataklandırılarak ve ilerleme hızı kademesiz ayarlanabilecek şekilde mekanik olarak tahrik edilerek parçalar düz ızgaralar üzerine konup fırından boşaltıldıktan sonra makara sistemi ile fırına alınarak 200 ila 350°C sıcaklığında hızlı bir şekilde tekrar fırına yüklenirken büyük güçler için (250 ila 1000 kg/h) ters dolaşım ve asma sistemli raylı fırınlar, fırın öncesi 50-70°C sıcaklığında kurutma yapan fırınla bağlantılı olarak kullanılabilirler. Bu fırında ısıtma sistemide yine radyasyon borulu yada elektrik dirençli olabilir.

## 1.4. CAM ÜRETİM FIRINLARI

### 1.4.1. Cam Ergitme Fırınları

Cam ergitme fırını olarak havuzlu fırın ve tekne fırın adı verilen iki ana tip vardır. Daha eski geçmişe sahip havuzlu fırında ergiyiğin kimyasal etkisine ve ateşe dayanıklı malzemedan yapılan potalarda cam eritilir. Cam potaları üretilecek camdan istenen kaliteye göre kapalı ya da açık olarak yerleştirilir. Bu fırınların ısıtılması, gazla (jeneratör gazı) ya da akaryakıtla olabilir. Yüksek fırın sıcaklıklarında, yakma havası ve gaz, reküparatör ya da rejenaratörlerle ön ısıtılır. Fırın hacminin formu yuvarlak oval, yarım yuvarlak ya da köşeli olabilir. Ancak bu fırınlarda ergitme olayı sürekli omadığından kütle halindeki üretim için pek kullanılmazlar.

Tekne fırınlar ise isminden de anlaşılabilceği gibi camın bir tekne içerisinde eritildiği fırınlardır. Esas olarak çalışması Siemens-Martin fırınlarna benzeyen bu fırınlarda ergitme olayı bazı farklılıklar içerir. Şarj ve camın alınmasının genellikle sürekli olması; ton başına gerekli enerjinin çelik ergitmedekinin yaklaşık iki katına ulaşması; ergiyik camın, radyasyonu kısmen alması ve pek az yansıma yapması gibi bu farklar fırın konstrüksiyonunuda etkiler. Yakıcıların düzenlenmesi Siemens-Martin fırınlarından biraz daha farklıdır ve yakıcılar, her iki duvara da yerleştirilir ve çalışma esnasında sürekli yön değiştirirler.

Tekne fırınlar ayrıca işletilmelerine göre günlük ve sürekli yakıcıların düzenine göre yandan ısıtmalı yada dik alev ve arkadan ısıtmalı ya da U alev teknesi şekilde de sınıflanabilirler.

### 1.4.2. Cam Pişirme Fırınları

Camın pişirilmesinde, yaklaşık 750°C sıcaklıkta değişik metaloksidler, camın renksiz yada renkli olmasına etki ederler. Redükleyici atmosfer varsa kabarcık teşekkülü gerçekleştiğinden fırın atmosferide önemlidir. Bu amaçla cam pişirme fırını olarak genellikle elektrikli fırınlar ya da gazla ısıtılan hücre tipi fırınlar kullanılır.

### 1.5. SERAMİK FIRINLARI

Seramik pişirme işlemi için küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde elektro kamara tipi, direkt ısıtmalı kamara fırın, hücre fırın ve yuvarlak fırınlar kullanılır. Büyük işletmelerde, özellikle inşaat tuğlalarının pişirilmesinde, ring fırınların yanında tünel arabalı fırınlar tercih edilir. Yükleme ve boşaltma işlemi fırının dışında olduğu için ısı ve zaman kaybı azalacağından kamara arabalı fırınlar basit kamaralı ve yuvarlak fırınlara nazaran daha üstündür. Çok sayıdaki yanyana dizilmiş raylar üzerinde hareket edebilen arabanın yükleme ve boşaltılması için geçen süre fırın için bir kayıp olarak görülmez. Arabalar fırın içerisinde yaklaşık 48 saat kalır ve fırını yaklaşık 120°C de terk ederler. Isıtmada gaz, akaryakıt ve elektrik direnç ısıtma ve akaryakıt-gaz karışımı kullanılmaktadır. Akaryakıtla ısıtmada impals ateşleme kullanılır ve yakıcılar arabaların üzerinde kanallar içerisinde püskürtme yapar. Fırın kesitinde homojen ısı dağılımı için yakıcılar değiştirilebilir olarak biraz eğik şekilde yerleştirilir. Elektrikli direnç ısıtmada ise pişirme sıcaklığına bağlı olarak, uygun direnç malzeme seçilmelidir.

### 1.6. ENDÜSTRİ FIRINLARININ SINIFLANDIRILMASI

#### 1- Kullanım Yerlerine Göre

- 1- Demir ve Metal Endüstrisi
- 2- Cevher, yakıt ve diğer maddelerin hazırlanması
- 3- Tuğla, toprak ve seramik endüstrisi
- 4- Cam endüstrisi
- 5- Gaz Endüstrisi
- 6- Kimya endüstrisi ve plastik sanayii
- 7- Tahta, kağıt, tekstil ve deri endüstrisi
- 8- Diğer endüstriyel amaçlar
- 9- Laboratuvarlar
- 10- Fırın parçaları ve aksesuarları

#### 2- Isıtma Amacına Göre

- 1- Maddelerin kurutulması

- 2- Parça yüzeylerinde kaplama yapılması
- 3- Maddelerin yapısının değiştirilmesi
- 4- Maddelerin kimyasal konsantrasyonunun dönüştürülmesi
- 5- Maddelerin sıcak şekillendirilmesi veya işlenmesi için ısıtma ya da sıcak tutma
- 6- Maddelerin parçalanması
- 7- Maddelerin ergitilmesi
- 8- Ergitilmiş sıvı maddelerde işlem
- 9- Maddelerin yakılması
- 10- Maddelerde diğer tarz etkilenmeler

### **3- İnşa Formlarına Göre**

- 1- Yatay taban üzerine yükleme tarzında doldurmalı fırınlar
- 2- Düşey taban üzerine yükleme tarzında doldurmalı fırınlar
- 3- Fırın içerisinde ilerletme tertibatı olmaksızın sürekli yüklemeli fırınlar
- 4- Fırın içerisinde ilerleme düzeneği olmaksızın sürekli yüklemeli fırınlar
- 5- Maddenin sabit, örülmüş ya da astarlanmış tabanda bulunduğu fırınlar
- 6- Maddeler için dışarı alınabilir sepet yada tavalı fırınlar
- 7- Fırın hacimli inşa formu
- 8- Fırın hacimsiz inşa formu
- 9- Buhar ve sıcak su üreticileri
- 10- Hava ve gaz ısıtıcıları

### **4- Isıtma Tarzına Göre**

- 1- Katı yakıtla direkt ısıtma
- 2- Katı yakıtlarla indirekt ısıtma
- 3- Direkt akaryakıt ısıtma
- 4- İndirekt akaryakıt ısıtma
- 5- Direkt gaz ısıtması
- 6- İndirekt gaz ısıtması
- 7- Elektrik direnç ısıtma
- 8- Elektrik ark ısıtma
- 9- İndüktif ısıtma

10- Diğer ısı kaynakları ile ısıtma

### 1.7. KULLANMA YERLERİNE GÖRE ENDÜSTRİ FIRINLARI VE ISIL DEĞERLER

Malzeme ve İşlem tarzı	Fırın tipi	Çalışma sıcaklığı °C	Isı gereksinmesi MJ/t		
			Gazla ısınan fırın	Elektro fırın	
Demir ve çelik Çelik ergitme	SM-fırını	1600-1700	4800-6070	2500-3930	
	Ark fırını				
Dökme demir ergitme	Ark fırını	1400		1630-3270 1990-2890	
	İndüksiyon fırını				
Haddelme yada dövme işlemi gibi sıcak şekillendirmeler için çelik ısıtma	Kuyu fırın	1250	1460-1670		
	Büyük itme fırın	1150-1350	1250-1880		
	Kısa itme fırın	1200-1300	1670-2090		
	Uzun itme fırın	1200-1300	2300-4400		
	Çelik boru için makara tabanlı fırın	1050-1100	840-1670		
	Döner tabanlı fırın	1150-1280	1670-2090		
	Platina için kaldırma kırıli fırın	1050-1100	1250-1670		
	Kalıpta dövme için parça ısıtma fırını	1200-1300	6070-8800		
	İndüksiyon ısıtma fırını	900-1280			1250-2500
	Vasitasız direnç ısıtma fırını	900-1280			900-2180
	Direnç ısıtma fırını	900-1280			1090-2180
Tavlama	Çelik döküm için büyük tavlama fırını	800-900	1670-4400	630-1050 420-1050 750-1050	
	Kamara fırın	720			
	Sürekli fırın	720			
	İndüksiyon ve direnç ısıtma fırını	720			
Normal tavlama	Sürekli fırın	800-1000	1670-2500	900-1630 800-1250	
	Çelik bandlar için sürekli fırın	600-1050	590-1670		
	Çelik rulolar için çan tipi fırın	600-900	590-1470		
	Tel çekme fırını	800-900	590-1470		
	Tel çekme fırını	780-950	1470-3560		
	Kamara fırın	780-950			
	Sürekli fırın	780-950			
Sertleştirme	Sürekli fırın	800-1000	1890-2500	900-1800 710-1420 650-1250	
	Sertleştirme banyosu	750-900			
	İndüksiyon tesisi	750-900			
	Sürekli fırın	750-900			
Temperleme	Beyaz döküm için çan tipi fırın	1050	6900-8800		
	Siyah döküm için çan tipi fırın	950	2500-3140		
	Beyaz döküm için				

Temperleme	sürekli fırın	1050	4400-5230	1800-2500		
	Beyaz döküm için sürekli fırın	980-1020				
	Ferritik siyah döküm için sürekli fırın	950	2930-3560			
	Perlitik siyah döküm için sürekli fırın	950	2500-3560			
Emaye işlemi saç	Sürekli fırın 500 kg/h	900-950	2930-3560	Islak m.		
	1000 kg/h		1670-2500			
döküm	3000 kg/h		750-1250	3850-2440		
	Sürekli fırın 500 kg/h	700-800	2500-3560	Islak m.		
	1000 kg/h		1470-2300	2720-4200		
	3000 kg/h		760-1050	Pudra m. 1420-2500		
Galvanizleme (Çinko kaplama)	Fırın banyosu	445-460	670-1670	360-710		
	Banvo	430-460				
Pirinç	Ergitme fırını	1000	4400-5240	760-1250		
	Isıtma fırını	700-800	850-1670			
	İndüksiyon ergitme fırını	950-1100				
Alüminyum	ergitme	Tabanlı ergitme fırın	750	4400-5240	1800-2300	
		Potalı ergitme fırın	750	4400-6070	1800-2850	
		İndüksiyon erg.fırını	750		1470-2300	
	ısıtma	Radasyon ısıtmalı makara tabanlı fırın	500	590-760		
		İndüktif ısıtma	400-550		880-1420	
		Hava dolaşımli fırın	400-550		880-1420	
		Sürekli ısıtma fırını	400-550		880-1260	
Cam	ergitme	Havuz fırın	Sıcak tut.	10500-13800		
			Ergitme	18850-25120		
soğutma			Tekne fırın max.20t	14660-24300	3600-7200	
			Tekne fırın min.20t	10500-16330		
			Elektrod ergitme	1400-1500		340-500
Seramik endüstri			Sürekli fırın			
			Fayans tünel fırını	1200-1350	7750-10500	2500-9000
			Şamot tünel fırını	1100-1200	6070-8000	
		Porselen tünel fırını	1270-1370	2100-2500		

## BÖLÜM II

### II.2. FIRINLARDA ENERJİ TASARRUFU

Fırınlarda enerji tasarrufu 3 temel unsura bağımlı olarak görülebilir. Bunlar

- 1- Fırında ısının korunması ve en uygun izolasyon seçimi
- 2- Atık ısının yeniden kazanılması
- 3- Otomatik kontrol ile optimum enerji sarfiyatıdır.

#### 2.1. FIRINLARDA KULLANILAN EN UYGUN ISI YALITIM MALZEMELERİ VE ISI KAYIPLARININ AZALTILMASI

Fırınlarda ısının korunması refrakter malzemeler yardımı ile yapılacak izolasyon sayesinde sağlanmaktadır. Ancak burada önemli olan konu kullanılacak refrakter malzemenin yada diğer bir izolasyon malzemesinin seçimidir. Zira enerji tasarrufu açısından izolasyon malzemesinin, ısının korunması açısından, ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasının gerekmesi yanında istenilen sıcaklığa en çabuk şekilde gelebilmek için ısı tutma kapasitelerinde çok düşük olması gerekir. Bu nedenle Avrupa'da yaklaşık 20 yıl öncesinde terkedilmesine rağmen ülkemizde halen daha yaygın kullanımı olan refrakter tuğla ile izolasyon mecbur kalınabilecek birkaç uygulaması dışında tüm çekiciliğini yitirmiştir. Bu malzemelerin yerini çok daha düşük yoğunluk, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı tutma kapasitesine sahip elyafli izolasyon malzemeleri ile yine düşük yoğunluklu dökülebilir monolitik refrakter harçlar almıştır. Özellikle daha önce tuğla ile izolasyonu yapılmış olan fırınlarda seramik elyaf ile izolasyon değiştirildiğinde % 70'e varan enerji tasarrufu, çok daha kısa sürede ısınma ve soğuma gerçekleştiğinden aynı sürede daha fazla şarj yapma imkanı ile sürekli üretim artışı sağlanabilmektedir. Bunun yanında montaj ve bakım işçiliğinin çok daha kolay olması herhangi bir onarım gereksiniminin kısa sürede halledilmesinden dolayı da büyük kolaylık ve zaman tasarrufusağlanmaktadır.

Dökülebilir refrakter betonlar ise fırınlarda yüklemenin yapıldığı bölümlerde ve seramik elyaf izolasyonun bulunduğu yan duvarlarda seramik elyafın altında, direkt alev

temaslı yanma hücreleri gibi v.b yerlerde kullanım kolaylığı yüksek mukavemet değerleri ve düşük ısı geçirme katsayıları ile büyük önem kazanmışlardır. İlerleyen kısımlarda bu malzemelerin çeşitleri özellikleri kullanım yerleri ve metodlarına ait daha detaylı bilgi verilmiştir.

## **2.1.1. MONOLİTİK REFRAKTERLER**

### **2.1.1.1. Plastikler**

Max kullanım sıcaklıkları 1600°C den 1750°C ye, içerdikleri  $Al_2O_3$  yüzdeleri % 48'den % 90'a kadar değişebilen yüksek erozyon ve aşınmaya mukavim metal penetrasyonuna CO ve hidrokarbonlara yüksek dayanıklılığı olan çeşitleri bulunan dökümhanelerde potalardan yakma tesisi yanma odalarına, fırınların arka ayna ve brülör çevreleri gibi yerlerde kullanılabilen refrakter çeşididir.

### **2.1.1.2. Refrakter Betonlar**

Max kullanım sıcaklıkları 1300°C den 1750°C ye, içerdikleri  $Al_2O_3$  yüzdeleri % 41 den % 96 ya kadar değişebilen, su, asit, gaz, aşınmaya, alüminyum ve metal penetrasyonuna, CO ataklarına, erozyona, kırılmaya ve termal şoklara dayanıklı çeşitleri olan; elektrik ark ocağı tavanları döner fırın ateşleme başlıklarında, yürüyen tabanlı fırınlarda, yanma odalarında, alüminyum ergitme ve tutma fırınlarında, ısıtım işlem fırınlarında astar malzemesi olarak ayrıca fırın tabanlarında ve araba üstlerinde kullanımlı olan refrakter malzemedir.

### **2.1.1.3. İzole Betonlar**

Max kullanım sıcaklığı 650°C den 1350°C ye içerdiği  $Al_2O_3$  yüzdesi % 12 den % 45'e kadar değişebilen 0,32 kg/dm<sup>3</sup> yoğunluğa kadar inebilen düşük yoğunlukta genel olarak refrakter beton arkasında kullanılan izolasyon amaçlı betonlardır.

### **2.1.1.4. Düşük Çimentolu Betonlar**

Max kullanım sıcaklığı 1650°C den 1750°C ye, içerdiği  $Al_2O_3$  yüzdesi % 12 den % 96 ya kadar değişebilen yüksek performans ve yüksek mukavemetli indüksiyon

ocakları ağız ve kapakları, alüminyum pota ve ocakları v.b yerlerde kullanılabilen refrakter betonlardır.

#### 2.1.1.5. Püskürtmeler

Max kullanım sıcaklığı 1400°C den 1700°C içerdiği  $Al_2O_3$  yüzdesi % 44 ten % 96 ya kadar değişebilen şamat esaslı hidrolik bağlı düşük sıcaklıklarda uygulanabilen soğuk veya sıcak tamir malzemeleridir. Rafineri fırınları, hadde fırınları tav fırınları, alüminyum ergitme fırınları, arabalar v.b yerlerde kullanımı mümkündür.

#### 2.1.1.6. Beton Refrakter Uygulanması

Beton refrakterler, taneciklerin ve hidrolik bağlayıcıların karışımından oluşmuş olup uygulanacakları yerde su ile karıştırılıp kalıpar vasıtasıyla normal betonlara benzer şekilde kullanılırlar.

Uygulama yapılırken su ihtiyacı hem mukavemet hemde uygulama kolaylığı açısından önemlidir. Yetersiz su malzemenin akışkanlığını engellerken fazla su ise ısı esnasında çatlaklara ve malzemenin yeterli mukavemete erişmemesine yol açar. Bu amaçla

- Kullanılan su normal musluk suyu olmalıdır içinde 1000 ppm'den fazla pislik bulunduran veya asid derecesi 5 pH'den düşük olan sular kullanılmamalıdır.

- Su ile karıştırmadan önce refrakter malzeme iyice karıştırılmalı daha sonra kullanılacak suyun yarısı ilave edilmeli en son suyun kalan yarısı ilave edilerek karışım istenilen kıvama getirilmelidir.

- Karıştırma süresi kullanılan malzemeye göre değişmesine karşın genelde 3 dakika yeterlidir.

- Karıştırma için gerekli alet ve makina muhakkak temiz olmalıdır.

- Karıştırma suyu 15-20°C arasında olmalıdır.

- Refrakter döküm yapılan ortam 5°C nin altında olmamalıdır.

Tahta kalıplar şu hallerde kullanılmalıdır.

- Gerekli döküm yerleri çok karmaşık şekilli olduğundan metmal kalıpların kullanımının mümkün olmadığı yerlerde

- Döküm yapılacak yerin küçük dolayısıyla tahta kalıp kullanımının daha ekonomik olduğu yerlerde.

**Metal Kalıpların kullanılma durumları ise**

- Döküm alanının büyük olduğu ve aynı kalıbın tekrar tekrar kullanım söz konusu olduğu

- Dökülecek miktarın fazla olduğu dolayısıyla kalıba yapacağı basıncın fazla olduğu hallerdir.

- Kalıpların yüzü kullanım öncesi mutlaka temizlenmelidir.

- Dökülen betonun kalıbı tam doldurduğundan emin olmak için kalıba dışarıdan bir çekiçe vurulmak veya malzeme bir karıştırma çubuğuyla üstten alta doğru karıştırılmalıdır.

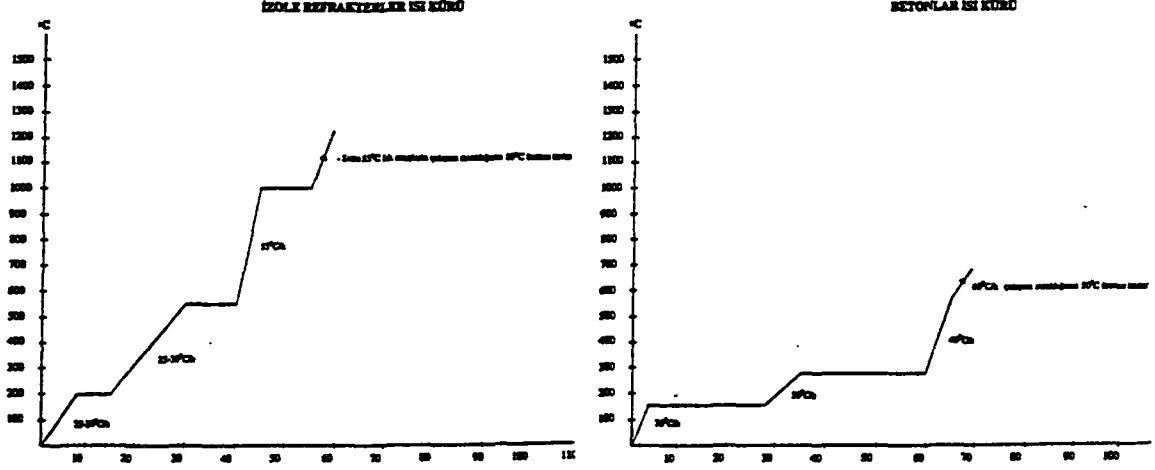
- Eğer vibratör kullanılıyor ise taneciklerin ayrılmasına neden olmamak için vibrasyonun çok olmamasına dikkat edilmelidir.

- Dökümden sonra beton malzemelere en az 24 saat bekletme uygulanmalıdır. Bu süre zarfında malzeme ıslak tutulmalıdır.

- Kalıpların kaldırılması için gereken en kısa süre malzemenin iyice sertleştiği zaman olmalıdır.

#### **2.1.1.7. Refrakter Betonlarda Isı Kürü**

Betonlarda dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biride betonların kullanıldığı fırınların döküm yapıldıktan sonraki ilk işletmeye alış şeklidir. Bunun için fırında sıcaklık yükselmesi çok yavaş tutularak betonun bünyesindeki suyu yavaş yavaş atması sağlanmalıdır. Aksi taktirde hızlı ısıtma yapıldığı taktirde beton bünyesinde oluşan hızlı buharlaşma betonda çatlamalara ve mukavemet düşüklüğüne sebep verebilir. Bu nedenle bu işlem betonun ilk kullanılması sırasında bir kez gerçekleştirilmelidir. Daha sonra normal çalışma şartlarına dönülebilir. Aşağıda izole refrakterlerde ve betonlarda uygulanması gereken ilk ısı kürleri göstermiştir.



## 2.1.2. SERAMİK ELYAF ÜRÜNLER

Başta da belirtildiği gibi 1500°C ye kadar varan sıcaklıklarda seramik elyaf malzemelerin izolasyonda kullanılması enerji tasarrufu ve daha bir çok açıdan çok daha ekonomiktir. Bu bölümde seramik elyaf ürünlerin bu üstün yanları incelenecek, malzeme çeşitleri özellikleri ile kullanım yerleri kısaca tanıtılarak izolasyon için seramik elyaf kullanımının başka malzemelerle karşılaştırması grafiksel olarak yapılacaktır.

### 2.1.2.1. Seramik Elyaf Malzemelerle Elde Edilen Avantajlar

#### - % 70'e varan enerji tasarrufu

Seramik elyaf ürünlerin izolasyon özelliği refrakter tuğlalara göre kat kat iyidir. Bu nedenle tuğlaya göre daha az bir kalınlıkta kullanıldığında bile dış çeper sıcaklığını azaltmakta ve ısı kayıplarını minimum düzeye indirmek mümkün olmaktadır. Ayrıca tuğlalı fırınlarda, tuğla yerin kullanıldıklarında duvar ağırlıkları % 80-95 oranında azalabilmektedir. Fırın duvarlarındaki bu gereksiz ısıtılan kütlenin azalması sonucu özellikle periyodik çalışan fırınlarda % 70'e varan enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

#### - Azalan fırın ağırlığı, küçülen dış boyutlar

Seramik elyaf kullanımı sonucu fırın duvarlarının incilmesi sonucu ile fırın dış boyutları küçülmekte fırın ağırlığıda önemli ölçüde azalmaktadır. Bu nedenle daha hafif

bir konstrüksiyon yeterli olmakla beraber fırının yerinden kalkması ve naklide kolaylaşmaktadır.

- Artan verimlilik

Termal şoktan etkilenmeyen ve daha az ısı emen seramik elyaf ürünler ile fırının ısınma ve soğuma sürelerinin kısalması sağlanır. Bu tür fırınlar tuğlalı fırınlara göre daha sık kullanılabilir.

- Ekonomiklik

Salt sağladığı enerji tasarrufu gözönüne alındığında bile seramik elyaf kullanılan fırınlarda yaklaşık 100 periyodik kullanım sonunda sağlanan enerji tasarrufu, malzemeye yapılan yatırım maliyetine eşit olmaktadır.

- Uzun Ömürlülük

Termal şoktan etkilenmedikleri için daha uzun ömürlüdürler

- Kısalan Bakım Süresi ve Azalan Bakım Giderleri

Termal şoktan etkilenmedikleri için minimum bakım gerektirir ve herhangi bir zarar görse dahi esnekliği nedeniyle kısmi tamiri kolaydır. Ayrıca çok çabuk soğuyabilme özellikleri nedeni ile bu tip fırınlara kapatıldıktan kısa süre sonra girilebilmektedir.

- Homojen Isı Dağılımı

Refrakter tuğlaların aksine yüzeyine gelen ısının hemen hemen tamamını fırın içine yansıtarak homojen bir ısı dağılımı sağlarlar. Böylece fırın sıcaklığı daha iyi kontrol edilebilmekte ve mamullerin kalitesi yükselmektedir.

- Asbet içermezler

- 1500°C'ye kadar Dayanıklısıdır

- Mükemmel ısı yalıtımı sağlarlar

Bir sonraki bölümde adha detaylı olarak incelenmiştir.

- Kimyasallara Dayanıklısı ve Sudan Etkilenmezler

Bu ürünler hidroflorik ve fosforik asit ile kuvvetli bazlar dışındaki kimyasallara dayanıklıdır. Erimiş alüminyum ve çinko seramik elyaf ürünlerin üzerini ıslatmazlar

- Kolay Monte Edilirler

Her boyutta kesilerek kolaylıkla montaj edilebilirler.

## 2.1.2.2. Seramik Elyaf Ürünler ve Bazı Özellikleri

ÜRÜNLER	TİPLERİNE GÖRE. KULLANIM SINIRLARI °C	EBATLAR mm	KALINLIK mm	YOĞUNLUK Kg/m <sup>3</sup>	KULLANIM YERİ ÖRNEKLERİ
DÖKME ELYAF	1260 1430	25 kg'lık Torba	-	100 160	Genleşme boşluğu dolgu malzemesi ve fir. arabalarında
BATTANIYE	1260 1430	Rulo 7315x610	6-9-13-19- 25-38-50	64 96 128 160	Fırınlarda genel maksatlı olarak
ÖZEL AMAÇLI BATTANIYE	1100 650 1260	2400x600,1200x600 25000x1200 73.5x610	6-9-12-19- 25 6 13- 19-25	300-400 260 128	-Fırın perdesi -Baca izolasyonu -Fırın duvarını buhardan koruma
ESNEK PLAKA VE KAĞIT	1260 1430 1470 1200 1300	1250x1000 25000x1000 12000x1000	3-6-9-12- 18-30 1-2-3	180-190 240-270 145-175 250 350	-Yanma Hücreleri -Genleşme sızdırmazlık contası -Asbest ürünler yerine
SERT PLAKA	1150 1260 1430 1470	1250x500 1250x1000 1000x600	3-6-9-12-18 25-50-75	230-270 240-280 330-370 360-370 260-300	-Refrakter duvar arkası -Isı kalkanı -Pota izolasyonu
VAKUMLA OLUŞTURULMUŞ ŞEKİLLER	1260 1430 1470	-	-	230-400 270-310 270-310	-Özel şekil isteyen alanlar -Yanma hücreleri -Kazan kapıları
DÖKÜLEBİLİR HARÇLAR VE MASTİK	1100 1200	25-20-15 kg'lık Torbalarda	-	1000-1400 1400-1500 800-1000	Fırın kanal ve kazanlarının tamiri refrakter yapıştırıcı
SERAMİK ELYAF TEKSTİL	1100 (Çelik T.Takviyeli) 650°(Cam ip takviyeli)	1x25 m En:20-300 mm Çap:3-4-5-6-7-8-9-10 12-14-16-18-20-22 25-28-30-32-35-40-45-50-60-80	2 mm 2 mm		-Fırın ısı kaynak koruma perdesi -Isı yalıtımı ve sızdırmazlık malzemesi

### 2.1.2.3. Refrakter Veya Elyaf Malzemeli Olmasına Göre Fırın Duvarları Isı Karşılaştırması Ve Ekonomiklik

Bu bölümde sürekli rejimde ve 1000°C sıcaklıkta çalışan bir fırının izolasyonunun ;

- 1 - 100;150;200;250;300 mm kalınlıkta yalnız şamot tuğla
- 2 - 100+25; 150+50; 200+75 ;250+100 ;300+125 mm kalınlıklarda şamot + kizelgur tuğla
- 3- 100;150;200;250;300 mm kalınlıkta yalnız seramik elyaf modül
- 4- 100+25; 150+50; 200+75 ;250+100 ;300+125 mm kalınlıklarda seramik elyaf modül + kaya yünü

olması durumuna göre bilgisayarda yapılmış ısı hesap sonuçları tablolar halinde verilerek ,bunlara ait izolasyon kalınlığına bağlı dış yüzey sıcaklığı ,ısı kaybı,stok ısı miktarları grafik olarak sunulacaktır .

Yapılan bu hesaplamalara bağlı olarak ise izolasyon malzemesi ekonomikliği incelenecektir.Ekonomiklik incelemesi sırasında göz önüne alınan fiyatlar şöyledir:

Kizelgur tuğla	$\cong 780 \text{ DM/m}^3$	Şamot tuğla	$\cong 600 \text{ DM/m}^3$
Seramik elyaf (150 kg/m <sup>3</sup> )	$\cong 940 \text{ DM/m}^3$	+ modül ek maliyeti	$\cong 110 \text{ DM/m}^2$
Kaya yünü birim fiyatı	$\cong 400 \text{ DM/m}^2$		

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>3</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.100	1.298	692.0	220.0	45793.0	329
ORTAM SICALIĞI						20
EMISSIVITE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				8706.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.100				220.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		164855.00				45793.00
					DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =	
					TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =	
					TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =	

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>3</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.150	1.293	671.0	330.0	67298.4	278
ORTAM SICALIĞI						20
EMISSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				6228.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.150				330.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		242274.00				67298.00
					DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =	
					TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =	
					TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =	

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.200	1.289	658.0	440.0	88688.8	244
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				4876.00
DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.200				440.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		319280.00				88689.00
TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =						



MALZEME ISMI	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.300	1.286	642.0	660.0	131368.2	200
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				3427.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.300				660.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		472926.00				131368.00

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.100	1.339	855.0	220.0	55790.0	701
KİZELGUR TUĞLA	0.025	0.207	480.0	17.5	2333.7	219
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				3999.00
DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.200				237.50
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		324721.00				58124.00
TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =						

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.150	1.343	871.0	330.0	85385.0	735
KİZELGUR TUĞLA	0.050	0.207	478.0	35.0	4815.0	162
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				2370.00
DUVARISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.200				365.00
TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		324721.00				90200.00
TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =						



MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.250	1.345	880.0	550.0	144005.5	755
KİZELGUR TUĞLA	0.100	0.206	472.0	70.0	9829.0	115
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				1317.00
				DUVARISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =		
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =				TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =		
0.350				620.00		
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		553805.00		TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =		
				153835.00		

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
ŞAMOT TUĞLA	0.300	1.346	882.0	660.0	173226.5	759
KİZELGUR TUĞLA	0.125	0.205	470.0	87.5	12346.3	102
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				1080.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =	0.425					747.50
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =	668062.00					185573.00
					DUVARISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =	
					TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =	
					TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =	

MALZEME ISMI	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.100	0.160	614.0	15.0	2933.0	120
ORTAM SICALIĞI						20
EMISSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				1412.00
DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.100				15.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		10557.00				2933.00

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.150	0.158	606.0	22.5	4392.0	95
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0			DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =	952.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.150			TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =	22.50
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		15810.00			TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =	4392.00

MALZEME ISMI	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>3</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.200	0.156	601.0	30.0	5854.4	81
ORTAM SICALIĞI						20
EMISSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				718.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.200				30.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		21076.00				5854.00

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.250	0.155	598.0	37.5	7319.5	71
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0			DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =	576.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =	0.250				TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =	37.50
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =	26350.00				TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =	7320.00

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.300	0.154	596.0	45.0	8786.1	64
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				481.00
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.300				45.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		31630.00				8786.00

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.100	0.285	928.0	15.0	4298.7	855
KAYA YÜNÜ	0.250	0.131	511.0	100.0	15753.4	59
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE =		0.8				415.00
HAVA HIZI (m/s) =		0				
DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =	0.350					115.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =	72187.00					20052.00

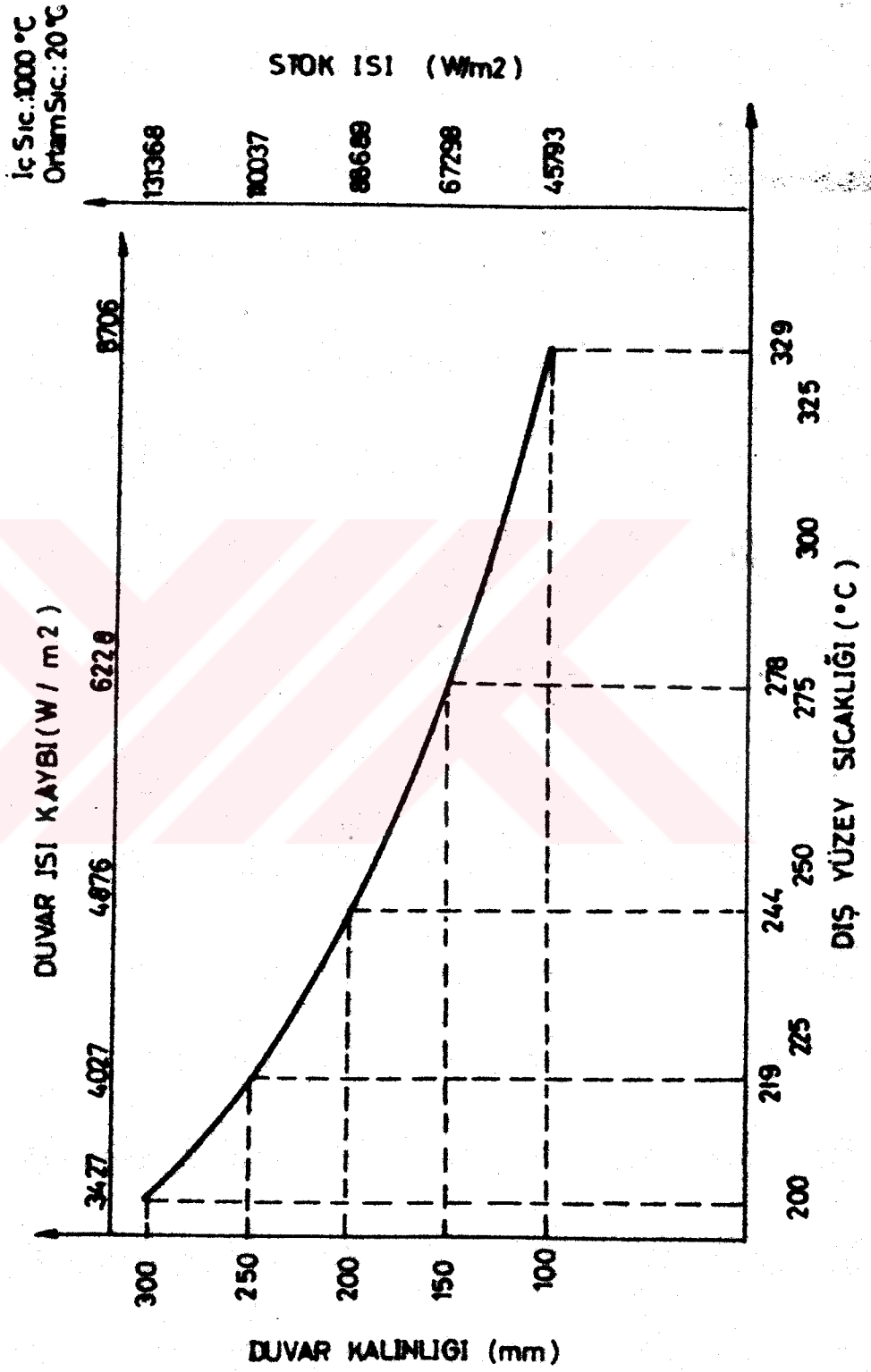
**KAYA YÜNÜ KLASİFİKASYON SICAKLIĞI 800°C OLMASI NEDENİ İLE İZOLASYON ZARAR GÖREBİLİRİ**

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.150	0.217	769.0	22.5	5161.9	512
KAYA YÜNÜ	0.050	0.081	321.0	20.0	1721.0	80
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				705.00
DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =	0.200					42.50
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =	24778.00					6883.00

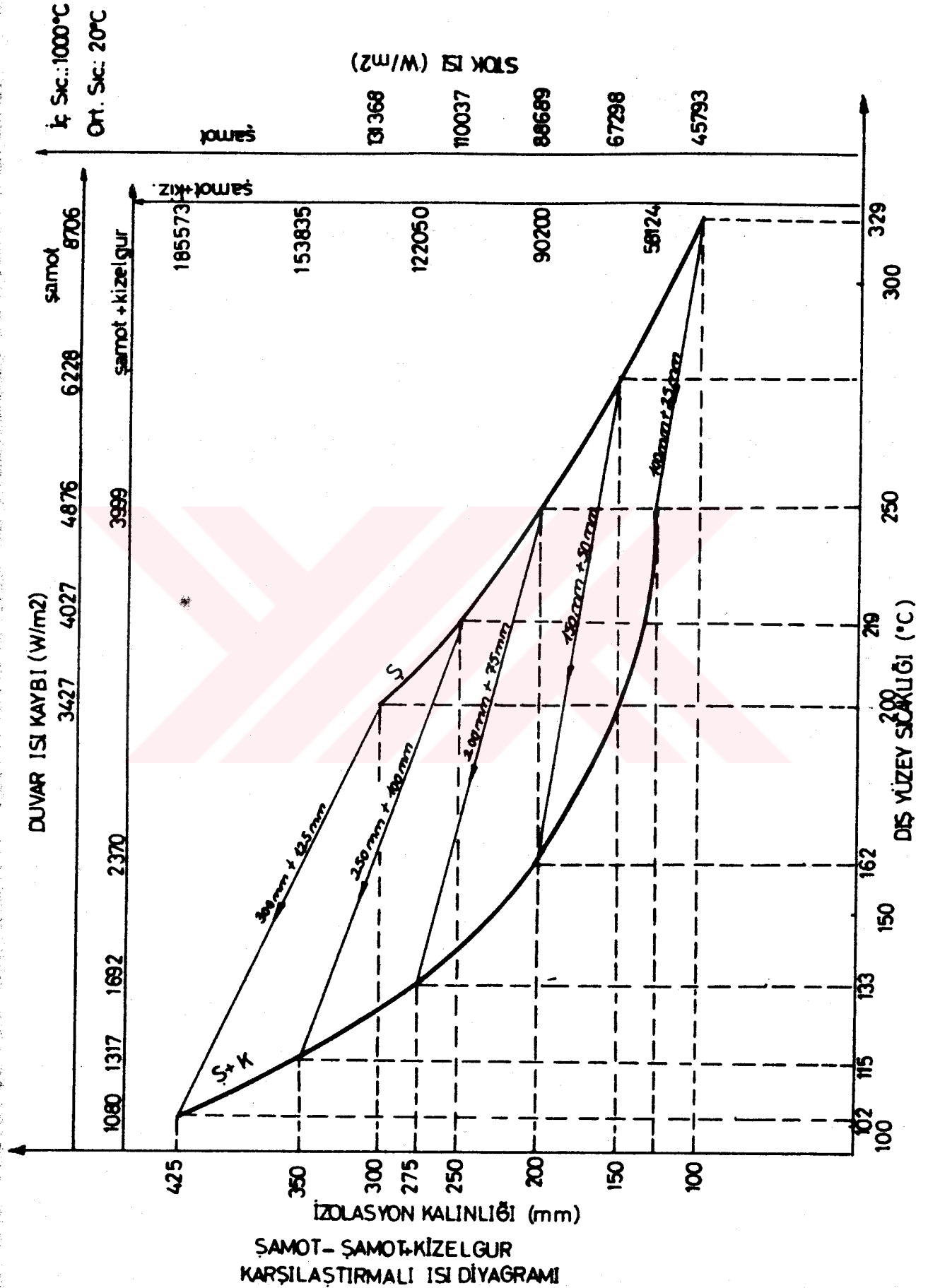
MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>3</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.200	0.220	778.0	30.0	6965.7	532
KAYA YÜNÜ	0.075	0.083	328.0	30.0	2691.2	67
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE =		0.8				
HAVA HIZI (m/s) =		0				
					DUVARISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =	515.00
					TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =	60.00
					TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =	9657.00

MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.250	0.222	782.0	37.5	8762.0	543
KAYA YÜNÜ	0.100	0.084	331.0	40.0	3667.4	59
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE =		0.8				406.00
HAVA HIZI (m/s) =		0				
					DUVARISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =	
					TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =	77.50
					TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =	12430.00

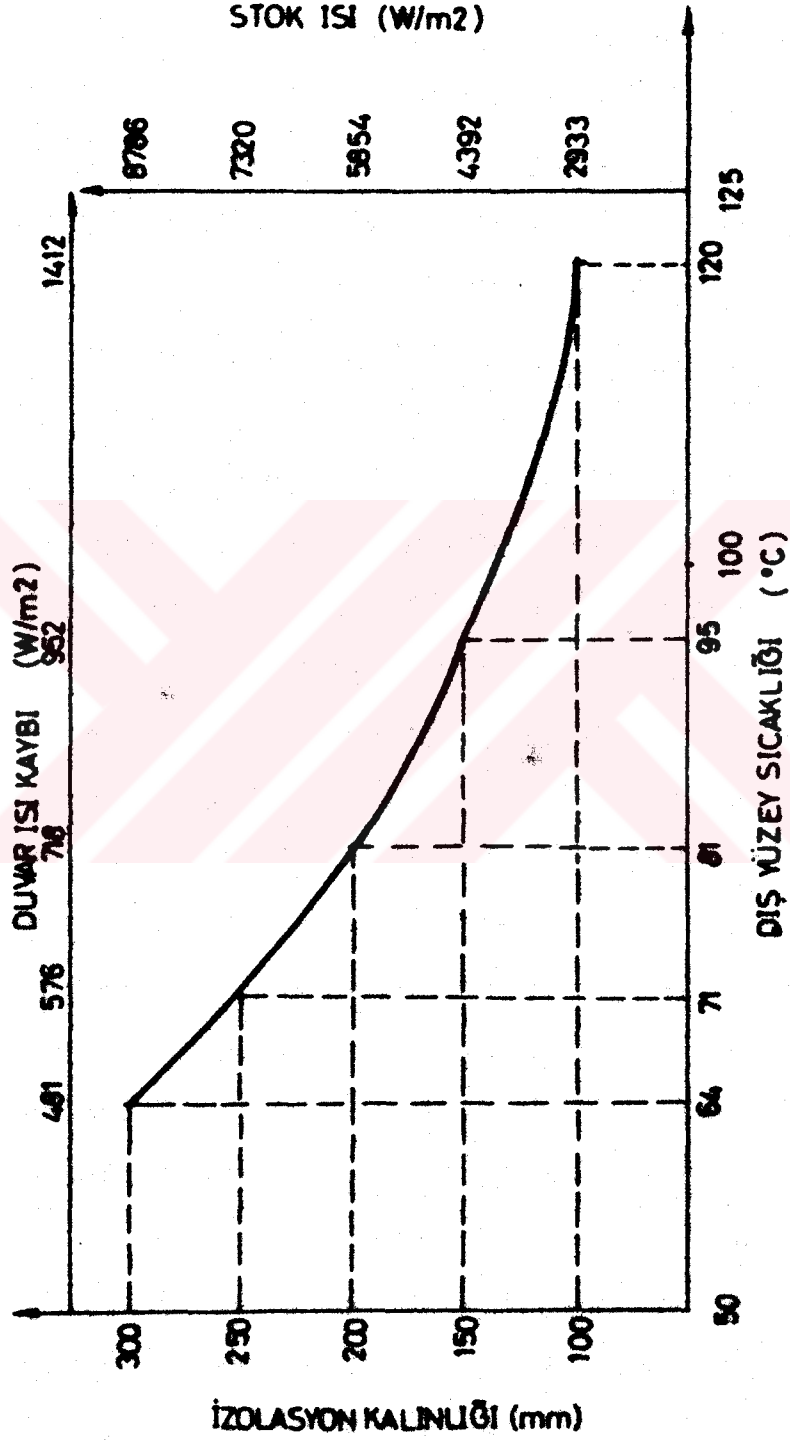
MALZEME İSMİ	KALINLIK (m)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)	GEOMETRİK ORTALAMA	AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> )	STOK ISI (W/m <sup>2</sup> )	SICAKLIK (°C)
İÇ SICAKLIK						1000
SERAMİK ELYAF MODÜL (150 Kg/m <sup>3</sup> )	0.300	0.223	786.0	45.0	10562.0	550
KAYA YÜNÜ	0.125	0.084	334.0	50.0	4656.0	53
ORTAM SICALIĞI						20
EMİSSİVİTE = HAVA HIZI (m/s) =		0.8 0				335.00
DUVAR ISI KAYBI (W/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM DUVAR KALINLIĞI (m) =		0.425				95.00
TOPLAM STOK ISI (kJ/m <sup>2</sup> ) =		54785.00				15218.00
TOPLAM AĞIRLIK (Kg/m <sup>2</sup> ) =						
TOPLAM STOK ISI (W/m <sup>2</sup> ) =						



ŞAMOT ISI DİYAGRAMI

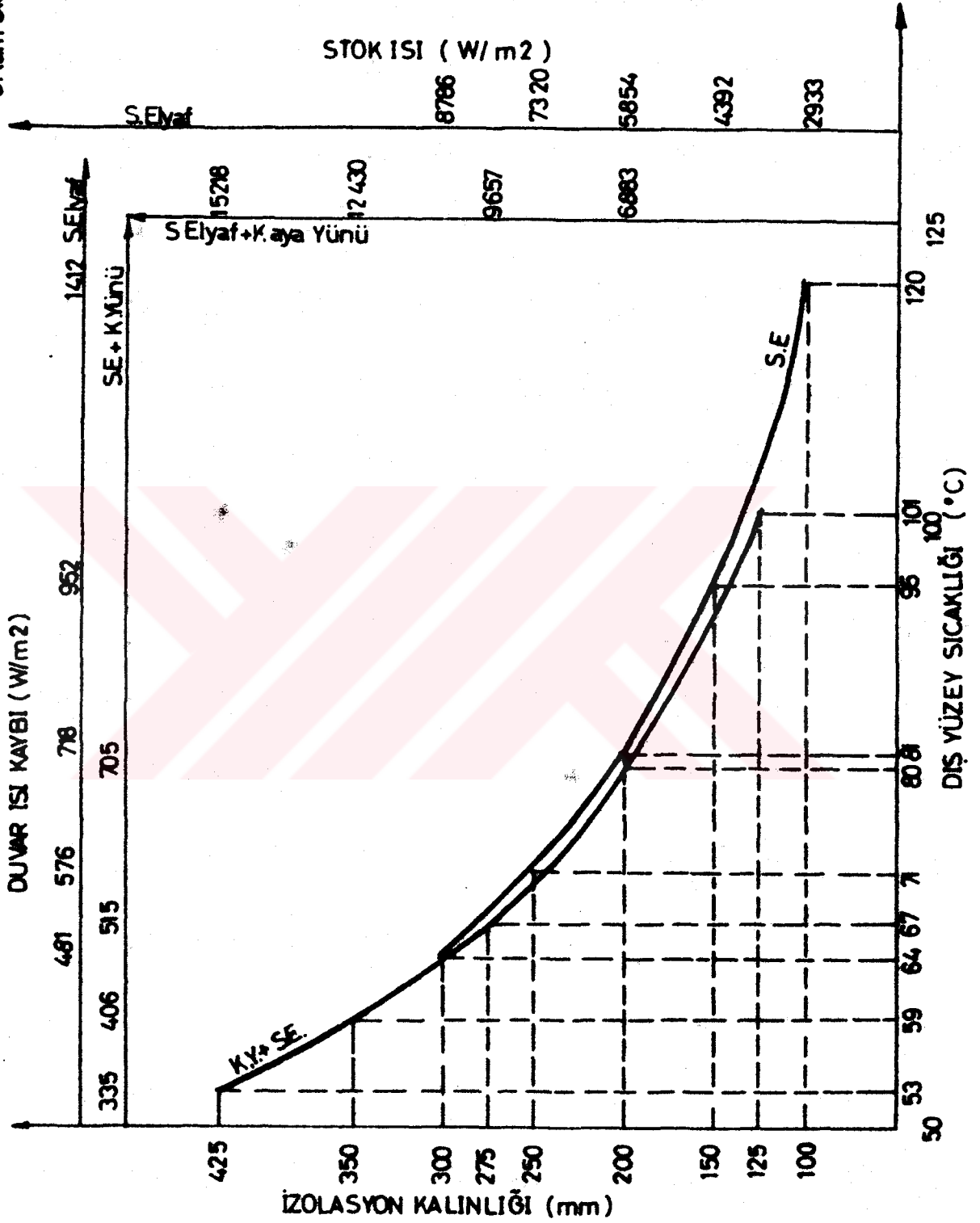


İç Sıcaklık : 1000 °C  
Ortam Sıcaklığı : 20 °C

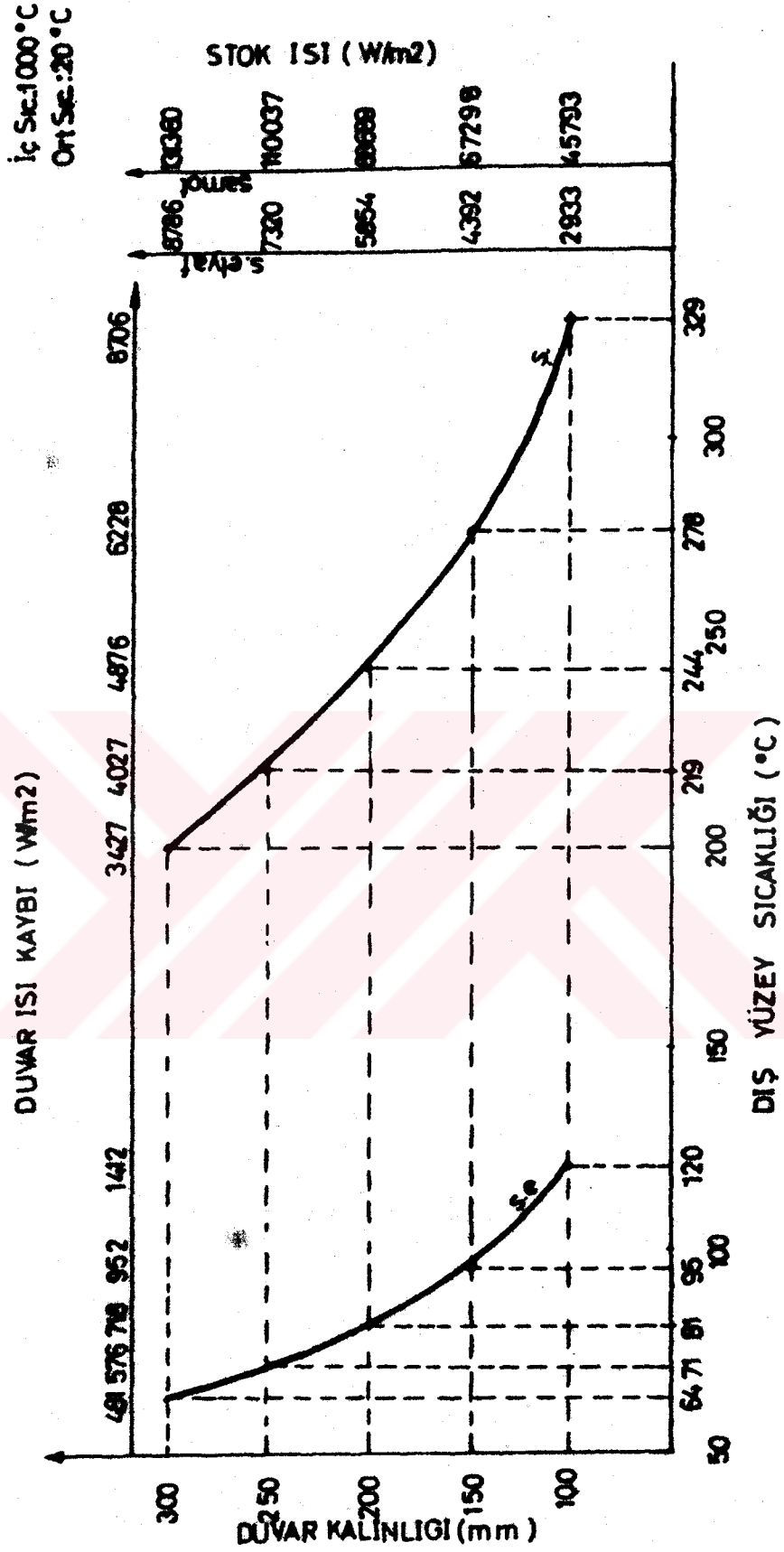


SERAMİK ELYAF ISI DİYAGRAMI

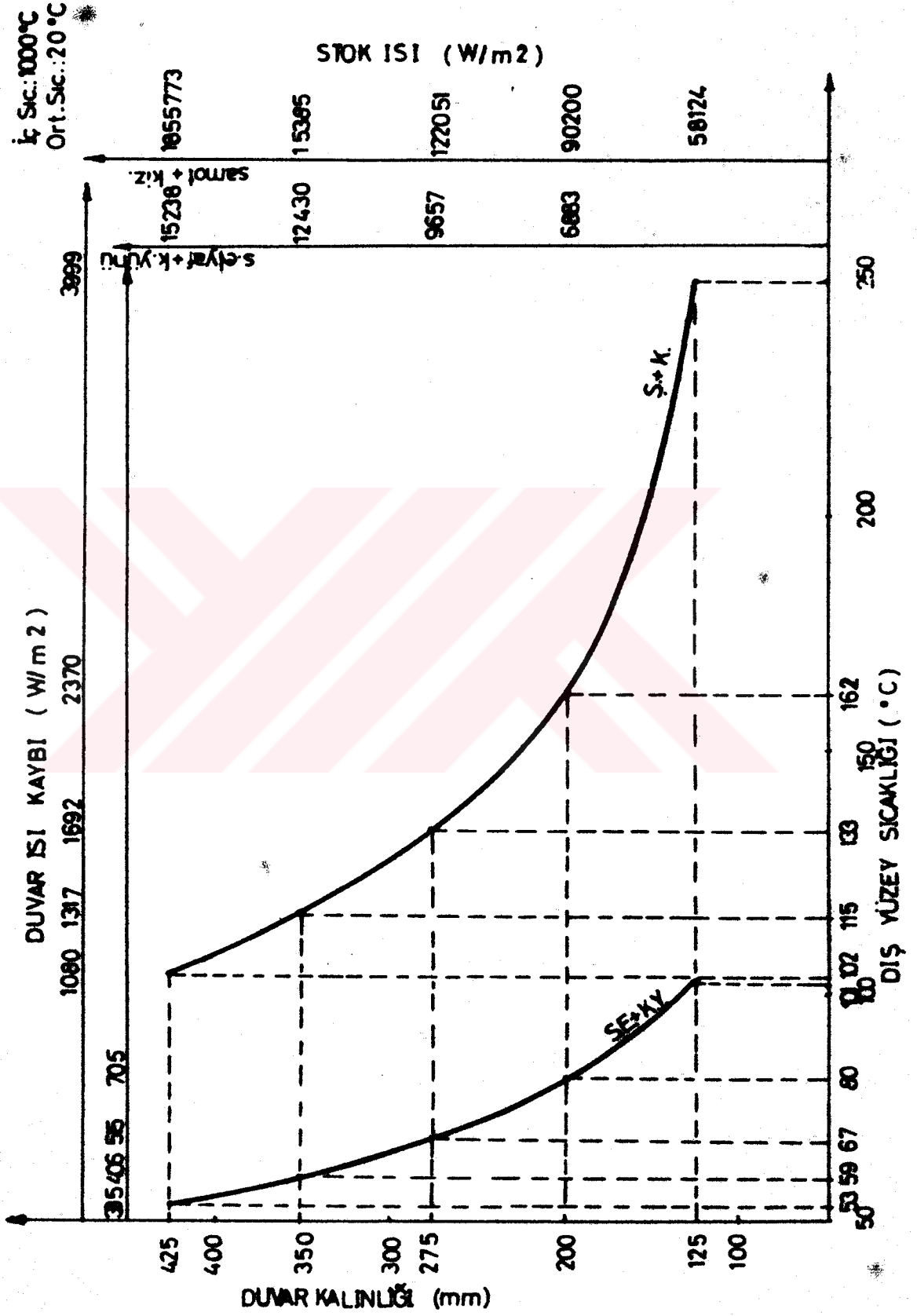
İç Sıcaklık: 1000 °C  
Ortam Sıcaklığı: 20 °C



SERAMİK ELYAF+KAYA YÜNÜ - SERAMİK ELYAF  
KARŞILAŞTIRMALI ISI DİYAGRAMI



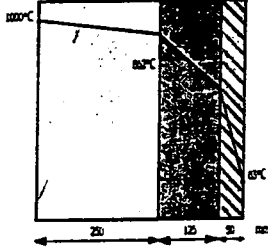
S. ELYAF - ŞAMOT KARŞILAŞTIRMALI  
ISI DİYA GRAMI



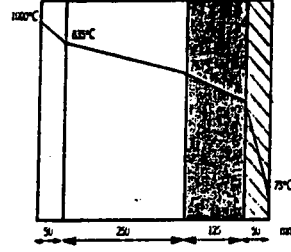
S. ELVAF + K. YÜNÜ - ŞAMOT + KİZELGÜR  
KARŞILAŞTIRMALI ISI DİYAGRAMI

## FIRIN DUVARLARI ISI KARŞILAŞTIRILMASI

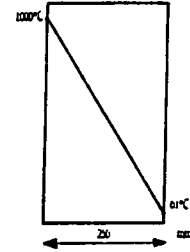
Tuğla



Tuğla+50mm seramik elyaf

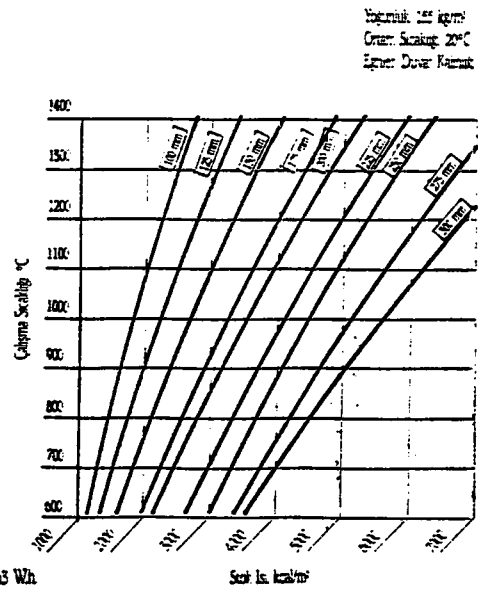
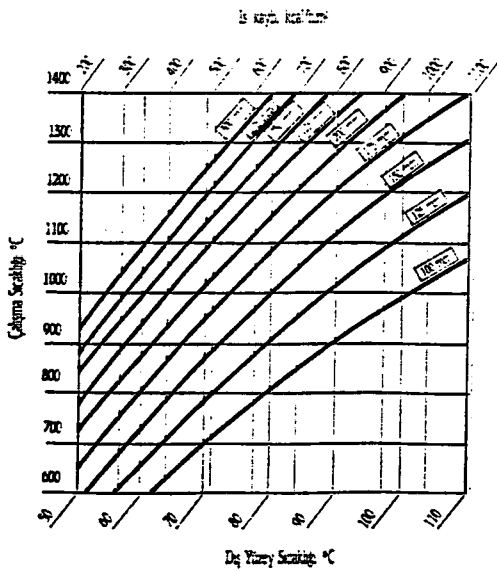


Seramik Elyaf



Tuğla fırın 50 mm Seramik Elyaf ile kaplanınca dış ısı kaybında % 21, stok ısıda % 13 tasarruf meydana gelmektedir. Aynı fırın refrakter tuğla yerine salt seramik elyaf ile yapılıncsa dış ısı kaybında % 42, stok ısıda ise % 96 tasarruf sağlanmaktadır.

## SERAMİK ELYAF İÇİN ISI DİYAGRAMLARI



1 kcal = 1.163 Wh

## 2.2. ISININ YENİDEN KAZANILMASI

Isının yeniden geri kazanılması asıl olarak 3 esasa dayanır.

- 1- Isıl prosesin uygulanmasını takiben ısıtılan parçaların ihtiva ettikleri ısıdan yararlanma
- 2- Fırını terk eden duman gazlarının ihtiva ettikleri ısıdan yararlanma
- 3- Rayların soğutulması gibi, soğutma sıvılarının ihtiva ettiği ısıdan yararlanma. Bu kaynak, yalnızca zorunlu hallerde tercih edilir ve genelde kullanılmaz.

1.Tarz kaynaktan hem elektrikle, hemde yakıtla ısıtılan fırınlarda yararlanma olanaklıdır. Eğer fırındaki malzeme müteakiben haddelenecek sertleştirilecek ve benzeri amaçlarda yüksek sıcaklığa iletiliyorsa, bu ısıdan yararlanmak olanaksızdır. Fakat ısıtılan parçanın ısıl proses uygulandıktan sonra soğutulması gerekiyorsa ihtiva ettiği ısıdan yararlanılabilir. Örneğin, bu ısı ile yeni ısıtılacak parçalarda ön ısıtma yapılabilir ya da hava ısıtılabilir ve bu hava örnek olarak kurutma amacı ile de kullanılabilir. Hava genellikle çok pratik ısı taşıyıcı olduğundan, daha çok ısıtılmış sıcak parça üzerinden ısının, soğuk parça üzerine taşınmasında kullanılır.

2.Kaynak ise yakıtla ısıtılan fırınlarda çok önemlidir. Çünkü, fırın hacmini terk eden gazlar ya henüz yanabilir özelliğe sahiptir veya birçok endüstri fırınında olduğu gibi henüz oldukça yüksek sıcaklığa sahiptir. Bu kaynaktan yararlanarakta örneğin sıcak duman gazları ile buhar kazanlarında buhar üretimi veya bir ön ısıtma kamarasında ön ısıtma işlemi parçalar üzerinde sağlanabilir.

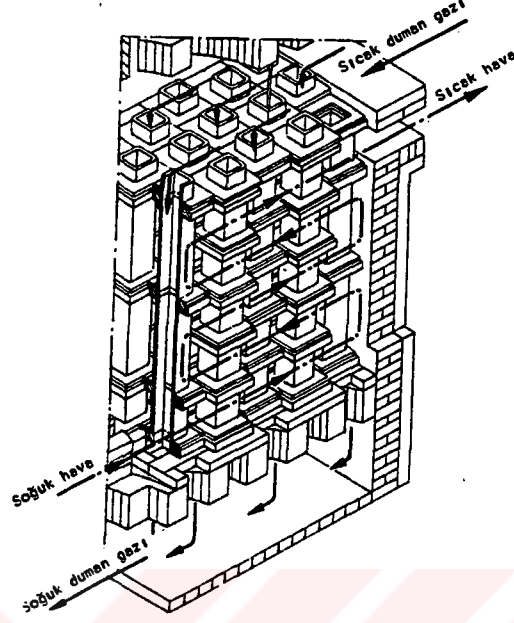
Çoğu zamanda ayrıca ilave olarak ya duman gazlarından yakma havasının ve yanan gazın ısıtılmasında yada yalnızca yakma havasının ısıtılmasında kullanılır. Bu durum karşı akım yada doğru akım tarzında tatbik edilebilir ve bunlara reküparatör sistemleri adı verilir. Ayrıca sıcak gazlardaki yüksek ısıyı tutabilen kütleler ısıtılabilir ve müteakiben bu bölemlere yakma havası yada yakma gazı üflenerek bunların ısıtılması sağlanabilir ve bunlara ise rejenaratör sistemleri adı verilir. Sürekli çalışmanın mümkün olabilmesi için rejenaratörün bir tesiste en az iki tane olması biri yakma havasını ısıtırken

diğerinin duman gazlarıyla ısıtılması ve daha sonra yön değiştirerek işlemin sürekli yapılması gerekmektedir.

### 2.2.1. Reküparatörler

Reküparatörlerde duman gazı ve hava veya gaz birbirinden ayrılmış bölümlerden aynı doğrultuda, karşı doğrultuda ya da çapraz doğrultuda geçerler. Reküparatörler büyük çoğunlukla, ısıya dayanıklı çelikten imal edilmektedirler. Seramik malzemelerden yapılan reküparatörlere nazaran çelik reküparatörler, özellikle kesintili çalışan işletmelerde hava ve duman gazı bölemleri arasında yüksek hava hızlarında da, yüksek basınç farkına rağmen iyi sızdırmazlık temin ederler. Basınçlı havanın duman gazı bölmesine girmemesi çelik reküparatörlerde daha rahat sağlanır. Ayrıca her m<sup>2</sup> alanda ısı geçişi, çelik reküparatörlerde daha yüksektir, daha hafiftirler ve daha az ısınma ısı kayıpları vardır. Bu nedenlerle kesintili çalışan fırınlarda havanın tekrar ısıtılması için gerekli zaman daha kısadır. Özellikle, duman gazı ve hava bölmeleri arasındaki basınç farkı çok büyük olmadığı (örneğin 20 mmss'den az basınç farkı), ağırlık ve hacim probleminin fazla önemli olmadığı yerlerde seramik yapı malzemeli reküparatörlerden yararlanılabilir. Bu tarz reküparatörlerden gaz üretim tesisleri, cam ergitme fırınları v.b gibi yüksek duman gazı sıcaklığı ve hava ön ısıtma sıcaklığı gerekli olduğu yerlerde kullanılır.

Metal reküparatörler yapı tarzı olarak, konveksiyon reküparatörü ve radyasyon reküparatörü olarak ana gruplara ayrılabilirler. Konveksiyon reküparatörlerinde duman gazlarının önemli bir kısmı, ayrılmış duvarlardaki konveksiyonla ısı transferiyle geçer. Radyasyon reküparatörlerinde ise bu olay radyasyonla gerçekleşir.

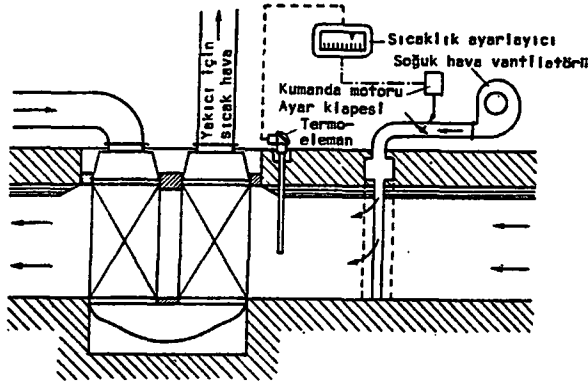


Şekil 2.1.: IMAG tipi tuğla reküperatör

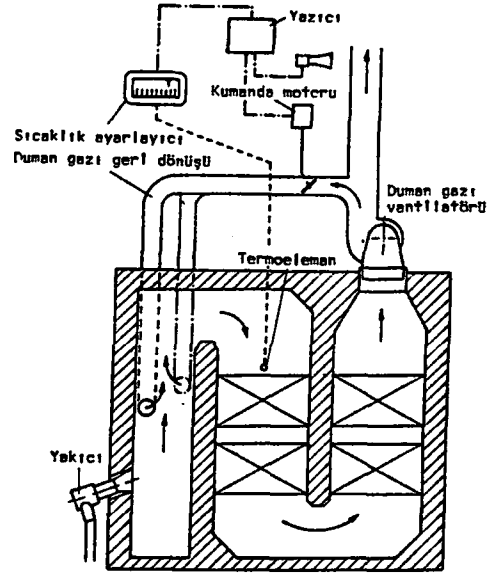
Reküperatör borularının cidar sıcaklıklarına ve buna bağlantılı olan ömürlerine etki edebilmek için şunlar yapılabilir.

1- Duman gazlarının giriş sıcaklığının sınıflandırılması. Bunun için sıcak duman gazlarıyla soğuk hava veya soğutulmuş duman gazı karıştırılır. Ancak soğuk hava karıştırılması yalnızca duman gazları yanıcı madde ihtiva etmediğinde yapılmalıdır. Aksi takdirde ilave yanma ile duman gazı sıcaklığı güvensiz olarak çok fazla yükselebilir.

2- Duman gazı ve hava karışımının karşı akım yerine doğru akım olarak kullanılması. Ancak bu durumda da yüksek hava sıcaklıklarına ulaşılamaz.



Şekil 2.2.: Soğuk hava karışımı reküperatör



Şekil 2.3.: Gaz geri dolaşımı hava ısıtıcısı

### 2.2.2. İç Reküperatörler

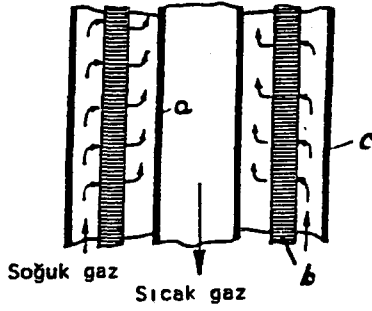
Eğer gazlar, gözenekli ya da kanallı bir duvardan geçirilir ve çok iyi bir ısı transferi sağlanmış olur. Gaz akımının laminar olduğu bu sistemde birbirinden farklı iki durum meydana gelebilir.

a) Aynı Doğrultuda Akım: Eğer sıcak gazlar, duvardan sıcaklık azalma doğrultusunda geçerse gaz ve ısı akımı aynı doğrultudadır.

b) Karşı Akım: Eğer sıcak gazlar, gaz girişinin karşı tarafını ısıttığı (örneğin radyasyonla) bir duvardan geçerse gaz ve ısı akışı ters doğrultuludur.

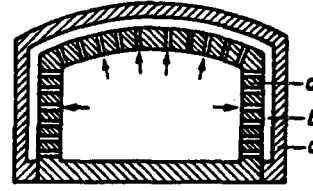
Aynı yönlü akım iç reküperasyonlu fırınlarda kullanılır. Duman gazları, yüksek sıcaklıkları ile birlikte baca kanalına direkt gidecekleri yerde gaz geçiren duvar ve tavan kemerinden geçerek bunların ısınmasını yani ısınma ısıyı kabı olarak verilmesini sağlarlar. Bu ısı, duvarlar tarafından alınmasaydı, bacaya atılarak baca kaybı olarak kaybedileceğinden bu tür düzenleme İç Reküperasyon adını alır.

Karşı akım, reküparatör içerisinde, havanın ön ısıtılması için kullanılır. Burada hava, gaz geçiren bir duvarın içerisinde, sıcaklığın arttığı yönde hareket edecek şekilde geçer (Radyal Reküparatör). Burada da duvar içerisinde iç reküparasyona rastlanır.



Şekil 2.4.: Şematik radyal reküparatör

- a - Gaz geçiren iç duvar
- b - Duman gazı hacmi
- c - Gaz geçirmeyen dış duvar



Şekil 2.5.: Şematik iç reküparatörlü fırın

Bu tarz radyal reküparatörler ısıtma maddesinde daha fazla soğutma yaparak alışılmış tarz reküparatöre nazaran, daha yüksek ısıtma yüzeyi gücüne ulaşırlar. Ayrıca merkezi iç borunun cidar sıcaklığı, alışılmış tarz reküparatöre nazaran daha düşüktür. Böylece, daha düşük kalite malzeme kullanılabilir. Ancak çevreye karşı izolasyonu gaz geçiren silindirin düşük ısı iletme kabiliyetli olmasında, önem taşır.

### 2.2.3. Rejeneratörler

Rejeneratörler, ateşe dayanıklı tuğla ile örülmüş tuğlalar arasında kanallar bulunan hacimden meydana gelirler. Belirli zaman aralıklarında (genelde yarım saat) duman gazları bu kanallardan geçirilir ve tuğla kafesin ısınarak ısı depolaması sağlanır. Daha sonra ise duman gazları ikinci jeneratöre sevk edilir ve birinciye yakma havası ya da ısıtılacak yakma gazı sevk edilir. Böylece kafesteki depolanmış ısı geri alınarak tuğlaların soğuması sağlanır. Çok yüksek ön ısıtma sıcaklıklarına çıkabilmesi bu sistemin üstünlüğüdür. Ancak yön değiştirme mekanizması ve sızdırmazlığı büyük önem taşır. Rejeneratörler daha çok ham demir ve çelik üretiminde ve sıcaklığı yüksek olan büyük endüstri fırınlarında tercih edilirler. Diğer tip fırınlarda daha çok reküparatörler kullanılırlar.

#### 2.2.4. Reküparatör veya Rejenaratörlü Olmaları Durumuna Göre Fırınlara Enerji

##### Sarfiyatı Karşılaştırmaları

PROSES	ISITILAN MALZEME VE ORTALAMA SICAKLIK	FIRIN TİPİ	ORTALAMA ENERJİ SARFIYATI Kcal/Ton
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kontinü, (ısı kazanımsız)	555.000
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kontinü(ısı kazanımsız sıcak şarjlı)	454.000
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kontinü (reküparatörlü)	400.000
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kontinü (rejenaratörlü)	416.000
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kamara tip (ısı kazanımsız)	1.110.000
Haddeleme	ÇELİK (1235°C)	Kamara tip (rejenaratörlü)	780.000
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Makara tabanlı (rejenaratör veya reküparatörlü)	480.000
Haddeleme	ÇELİK (1230°C)	Aksiyal	945.000
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kuyu fırın sıcak şarjlı	226.000
Haddeleme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kuyu fırın soğuk şarjlı	960.000
Dövme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kamara tip (ısı kazanımsız)	1.765.000
Dövme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kamara tip (reküparatörlü)	1.135.000
Dövme	ÇELİK (1175-1230°C)	Döner tabanlı	750.000
Dövme	ÇELİK (1175-1230°C)	Kontinü	700.000
Kalıpta Dövme	ÇELİK (1150-1370°C)	Kamara Fırın (ısı kazanımsız)	2.000.000
Kalıpta Dövme	ÇELİK (1150-1370°C)	Kamara Fırın (Reküparatörlü)	1.135.000
Kaynak	Çelik bant (1370°C)	Kamara Fırın (rejenaratörlü)	1.260.000
Kaynak	Çelik bant (1370°C)	Aksiyal fırın	1.135.000
Tavlama	Çelik döküm	Arabalı fırın	755.000
Tavlama	Çelik	Kontinü (zıt akımlı)	375.000
Tavlama	Çelik plaka	Kutu tip tavlama fırını	1.260.000
Tavlama	Çelik plaka (700°C)	Kutu tip, dış kısmı düşük ağırlıklı tuğla	550.000

Tavlama	İnce tabaka rulo (700°C)	Fırın dış kısmı düşük ağırlıklı tuğla	250.000
Tavlama	Çelik tel	Pat furnace	1.060.000
Tavlama	Çelik tel	Kontinu, (son sıcaklığa göre değişken)	1.000.000
Kurşun banyosunda parlatma	Çelik tel	Kontinu, (Kurşun banyolu)	1.390.000
Haddeleme	Çelik (820°C)	Plaka fırını	1.140.000
Normalize	Çelik plaka	Sıcaklığa göre değişen çeşitli tip fırınlar	850.000
Normalize	Paslanmaz çelik plaka	Kontinu	1.260.000
Sertleştirme	Çelik	Kontinu	350.000
Çekme veya Temperleme	Çelik	Kontinu	175.000
Karbonlama	Çelik	Kontinu	950.000
Emaylama	Çelik	Kontinu	1.140.000

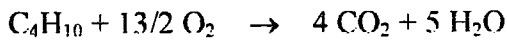
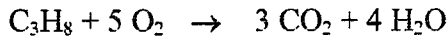
### 2.2.5 Bir Tünel Fırına Ait Reküperatör Hesabı Ve Dizaynı

Bu bölümde ısı gücü  $Q=2200000$  kcal/h olan ,  $1000^{\circ}\text{C}$  ' de çalışan bir tünel fırına ait reküperatör hesapları verilecektir.

#### 2.2.5.1. Isıl Hesaplar:

-Yakıt Analizi: Fırın LPG ile ısıtılmaktadır.Bu nedenle yakıt bileşim oranları %70  $\text{C}_3\text{H}_8$  ve %30  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  dur.

- Yanma Denklemleri:



- Minimum  $\text{O}_2$  Gereksinimi: Yukarıdaki yanma denklemlerinden birim LPG bileşeni başına düşen  $\text{O}_2$  değerleri yerine konulursa

$$O_{\min} = 1/100*[5*(\% \text{C}_3\text{H}_8) + 13/2 * (\%\text{C}_4\text{H}_{10})]$$

$$O_{\min} = 1/100*[5*70 + 13/2 * 30]$$

$$O_{\min} = 5.45 \text{ Nm}^3\text{Hava} / \text{Nm}^3\text{Yakıt}$$

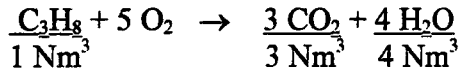
-Min Hava Gereksinimi ( $L_{\min}$ ):

$$L_{\min} = O_{\min} / 0.21$$

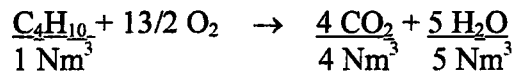
$$L_{\min} = 5.45 / 0.21$$

$$L_{\min} = 25.9 \text{ Nm}^3 \text{ Hava} / \text{Nm}^3 \text{ Yakıt}$$

- Yanma Sonunda Oluşan Duman Gazı İçindeki Gaz Miktarları :



$$0.7 \text{ Nm}^3 \quad V_{\text{co2}(1)} \quad V_{\text{H2O}(1)}$$



$$0.3 \text{ Nm}^3 \quad V_{\text{co2}(2)} \quad V_{\text{H2O}(2)}$$

$$V_{\text{co2}(\text{toplama})} = V_{\text{co2}(1)} + V_{\text{co2}(2)}$$

$$V_{\text{co2}(\text{toplama})} = 3 \cdot 0.7 / 1 + 4 \cdot 0.3 / 1$$

$$V_{\text{co2}(\text{toplama})} = \underline{3.3 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ Yakıt}}$$

$$V_{\text{H2O}(\text{toplama})} = V_{\text{H2O}(1)} + V_{\text{H2O}(2)}$$

$$V_{\text{H2O}(\text{toplama})} = 4 \cdot 0.7 / 1 + 5 \cdot 0.3 / 1$$

$$V_{\text{H2O}(\text{toplama})} = \underline{4.3 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ Yakıt}}$$

$$\lambda = 1.15 \text{ için}$$

$$V_L = (\lambda - 1) \cdot L_{\min}$$

$$V_L = (1.15 - 1) \cdot 25.9$$

$$V_L = \underline{3.89 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ Yakıt}}$$

$$V_N = 3.76 \cdot O_{\min} + 0.79 \cdot V_L$$

$$V_N = 3.76 \cdot 5.45 + 0.79 \cdot 3.89$$

$$V_N = \underline{23.56 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ Yakıt}}$$

- Yanma Sonundaki Duman Gazı Miktarı ( $V_R$ ):

$$V_R = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_N + V_L$$

$$V_R = 3.3 + 4.3 + 23.56 + 3.89$$

$$V_R = \underline{35.05 \text{ Nm}^3 \text{ D.G. / Nm}^3 \text{ Yakıt}}$$

- Toplam Duman Gazı Miktarı ( $V_g$ ):

$$V_{yakıt} = Q / H_u$$

$$H_u = 22000 \text{ kcal / Nm}^3 \text{ Yakıt}$$

$$V_{yakıt} = 2200000 / 22000$$

$$V_{yakıt} = 100 \text{ Nm}^3 \text{ Yakıt / h}$$

$$V_g = 100 * 35.05$$

$$V_g = \underline{3505 \text{ Nm}^3 \text{ D.G / h}}$$

- Toplam Hava Gereksinimi ( $V_H$ ):

$$V_H = 100 * 25.95$$

$$V_H = \underline{2595 \text{ Nm}^3 \text{ H. / h}}$$

Duman Gazı Sıcaklığı	⇒	$t_g^1 = 950 \text{ }^\circ\text{C}$
Soğuk Hava Sıcaklığı	⇒	$t_1^1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Sıcak Hava Sıcaklığı	⇒	$t_1^1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$
Duman Gazı Girişi Özgül Isısı	⇒	$C_g^1 = 1.5895 \text{ kJ/Nm}^3 \text{ (Ek 10)}$
Hava Girişi Özgül Isısı	⇒	$C_1^1 = 1.302 \text{ kJ/Nm}^3 \text{ (Ek 10)}$
Hava Çıkışı Özgül Isısı	⇒	$C_1^1 = 1.310 \text{ kJ/Nm}^3 \text{ (Ek 10)}$

Rekuperatörde duman gazlarından alınan ısının %20'si,  $Q_d$  olarak tahmin edilirse, rekuperatördeki duman gazı ve hava arasındaki ayırma duvardaki geçen ısı miktarı da  $Q_r$  ise;

$$Q_r = 1/0.8 * V_H * (C_1^1 * t_1^1 - C_1^1 * t_1^1) = V_g * (C_g^1 * t_g^1 - C_g^1 * t_g^1)$$

$$Q_r = 1/0.8 * 2595 * (1.31 * 200 - 1.302 * 20) = 3505 (1.5895 * 950 - C_g^1 * t_g^1)$$

$$\underline{C_g^1 * t_g^1 = 1291 \text{ kJ/Nm}^3 \text{K}}$$

Duman gazlarının reküperatörü terkettiği sıcaklık  $t_g'' = 820 \text{ }^\circ\text{C}$  kabul edilirse EK -10 'a göre  $C_g'' = 1.57 \text{ kJ/Nm}^3\text{K}$  olur.

$$C_g'' * t_g'' = 1287 \text{ kJ/Nm}^3\text{K}$$

Tahmin edilen değerin  $t_g''$  sıcaklığına uygun olduğu görülmektedir.

$$t_g^I - t_1'' = 950 - 200 = 750 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_g'' - t_1^I = 820 - 20 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$$

Karşı akımlı reküperatör için :

$$\Delta t_m = \frac{(t_g^I - t_1'') - (t_g'' - t_1^I)}{\ln \frac{(t_g^I - t_1'')}{(t_g'' - t_1^I)}}$$

$$\Delta t_m = \frac{750 - 800}{\ln \frac{750}{800}}$$

$$\Delta t_m = 774 \text{ }^\circ\text{C}$$

Diğer yandan ;

$$Q_r = V_g * (C_g^I * t_g^I - C_g'' * t_g'')$$

$$Q_r = 3505 * (1.5895 * 950 - 1.57 * 820)$$

$$Q_r = 780300 \text{ kJ / h}$$

Çelik borulu reküperatörler için  $k = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$  tahmin edilirse:

$$Q_r = F * k * \Delta t_m = 780300 \text{ kJ / h}$$

$$F = 780300 / 3.6 * 25 * 774$$

$$F = 11.2 \text{ m}^2$$

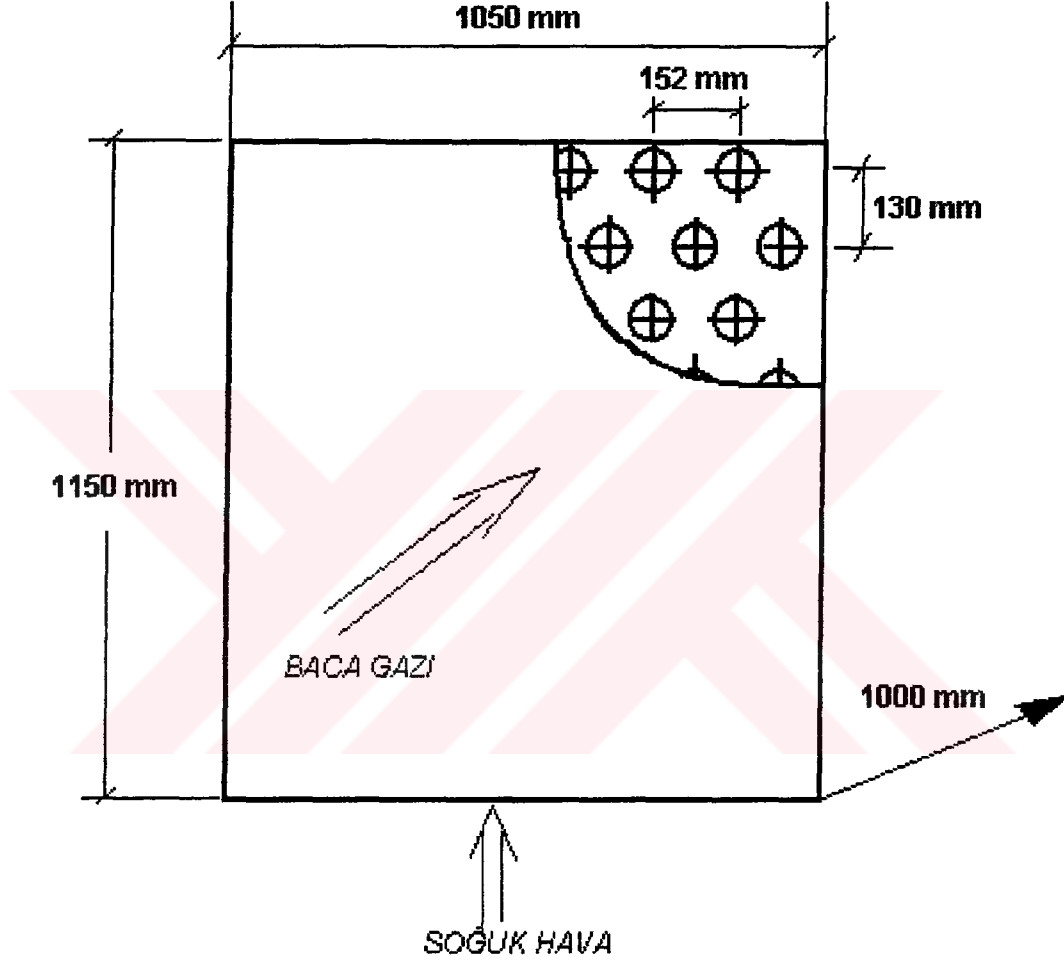
### 2.2.5.2 Dizayn Ve Ekonomiklik Hesapları :

$$\text{Reküperatör ayırım yüzeyi} = 11.2 \text{ m}^2$$

Kullanılacak boru çapı  $d_i/d_d = 70/76$  mm

1 m boydaki boru dış yüzeyi=  $0.238$  m<sup>2</sup>

11.2 m<sup>2</sup> alan için  $\Rightarrow$  47 adet 1 m boyda kullanmak gerekecektir.



**Yaklaşık Rekuperatör Maliyeti :**

- 1- Rekuperatörde toplam 47 m AISI 310 kalite 70/76 mm çaplı boru kullanılacaktır.
- 2- Baca gazı giriş ve çıkış duman sandıkları yine AISI 310 kalite 3.5 mm kalınlıktaki paslanmaz sac yapılacaktır.
- 3- Havanın temas edeceği ve duman borularını çevreleyecek konstrüksiyon

ise 2.5 mm kalınlıktaki AISI 304 kalite paslanmaz sac yapılacaktır.

4- Giriş ve çıkış duman sandıkları 100 mm kalınlıkta  $128 \text{ kg/m}^3$  yoğunlukta seramik elyaf ile diğer kısımlar ise 50 mm kalınlıktaki  $150 \text{ kg/m}^3$  yoğunlukta kaya yünü ile izole edilecektir.

5- Dış konstrüksiyon 2 mm DKP sac ile kaplanacaktır.

Maliyet 1- 70/ 76 mm AISI 310 kalite paslanmaz boru birim fiyatı  $\cong 200 \text{ DM/m}$

maliyeti :  $47 * 200 \cong 9400 \text{ DM}$

Maliyet 2 - AISI 310 Kalite 3.5 mm paslanmaz sac birim fiyatı  $\cong 11.5 \text{ DM/kg}$ .

sac miktarı  $\cong 5 \text{ m}^2 \Rightarrow 140 \text{ kg}$  maliyeti :  $140 * 11.5 \cong 1610 \text{ DM}$

Maliyet 3 - AISI 304 Kalite 2.5 mm paslanmaz sac birim fiyatı  $\cong 3.5 \text{ DM/kg}$

sac miktarı  $\cong 9.5 \text{ m}^2 \Rightarrow 190 \text{ kg}$  maliyeti :  $190 * 3.5 \cong 665 \text{ DM}$

Maliyet 4-  $128 \text{ kg/m}^3$  yoğunluk ve 25 mm kalınlıktaki  $1260 \text{ }^\circ\text{C}$  ye dayanıklı seramik

elyaf  $4.5 \text{ m}^2$ 'lik rulo fiyatı  $\cong 80 \text{ DM/ rulo}$

50 mm kalınlık  $150 \text{ kg/m}^3$  yoğunlukta  $750 \text{ }^\circ\text{C}$  dayanıklı  $0.75 \text{ m}^2$ 'lik kaya

yünü plaka fiyatı  $\cong 12 \text{ DM/ plaka}$

Seramik elyaf miktarı  $\cong 20 \text{ m}^2 \Rightarrow 5 \text{ rulo}$

Seramik elyaf maliyeti  $\cong 400 \text{ DM}$

Kaya yünü miktarı  $\cong 3.75 \text{ m}^2$

Kaya yünü maliyeti  $\cong 60 \text{ DM}$

Toplam izolasyon maliyeti  $\cong 460 \text{ DM}$

Maliyet 5 - 2 mm 'lik DKP sac birim fiyatı  $\cong 0.5 \text{ DM/ kg}$

Sac miktarı  $\cong 14 \text{ m}^2 \Rightarrow 224 \text{ kg}$  maliyeti  $\cong 110 \text{ DM}$

İşçilik maliyeti -  $\sim 3500 \text{ DM.-}$

**Toplam Yaklaşık Maliyet  $\cong 15745 \text{ DM.-}$**

Rekuperatörde geri kazanılan ısı  $\cong 780300$  kJ/h  $\Rightarrow 186500$  kcal /h

186500 kcal/h ' lik enerjinin normal şartlarda sağlanabileceği LPG miktarı :

$$\frac{186500}{22000} = 8.48 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

22000

Kontinu bir fırın için bu değer yılda 330 günlük çalışma süresi için :

$$330 * 24 * 8.48 \cong 67161 \text{ Nm}^3 \text{ Yakıt / Yıl enerji sarfıyatı anlamına gelir .}$$

Diğer yandan bugünkü şartlarda dökme LPG fiyatı  $\cong 0.5$  DM /kg olduğu göz

önünde tutulursa , yıllık kar :

$$67161 \text{ Nm}^3 \text{ Yakıt / Yıl} \cong 33580 \text{ Kg Yakıt /Yıl}$$

$33580 * 0.5 \cong 16790$  DM/ Yıl olacaktır. Bu da rekuperatörün kendisini 1 yıldan

kısa bir sürede amorti edeceği anlamına gelmektedir.

### **2..3. OTOMATİK KONTROL**

Otomatik kontrol döngüsünde (Şekil 2.12) kontrol edici bloğun yerine yerleştirilecek herhangi bir kontrol cihazı set değeri etrafında çalışması gereken hassasiyette sistemi kontrol etmelidir. Fırını gerektirdiği hassasiyette çalıştıracak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol formları vardır.

Bunlar :

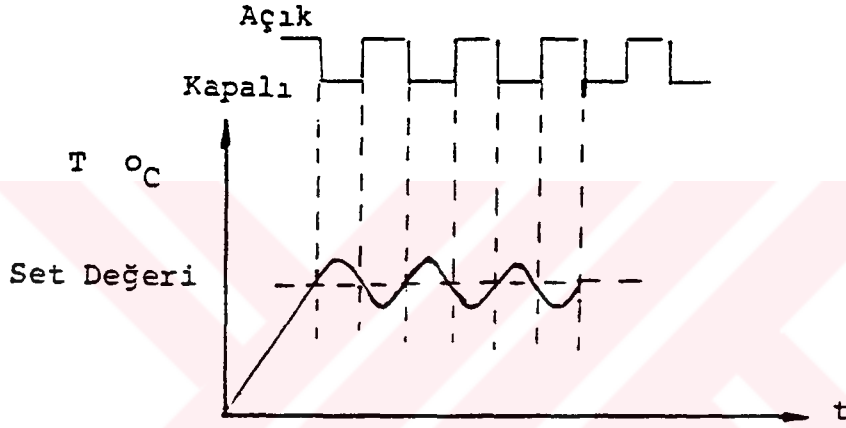
- 1) Açık-Kapalı kontrol (on-off)
- 2) Oransal kontrol (proportional) P
- 3) Oransal + Integral kontrol (proportional + integral) P+I
- 4) Oransal + Türevsel kontrol (proportional + derivative) P+D
- 5) Oransal + Integral + Türevsel kontrol (proportional + integral + derivative)P+I+D

#### **2.3.1. Açık-Kapalı Kontrol (on-off control)**

Açık-Kapalı kontrol cihazı set değeri üstünde veya altında ayar değişkenini açar veya kapar. Kontrol cihazının çıkışı iki konumludur; ya tamamen açık, ya da tamamen

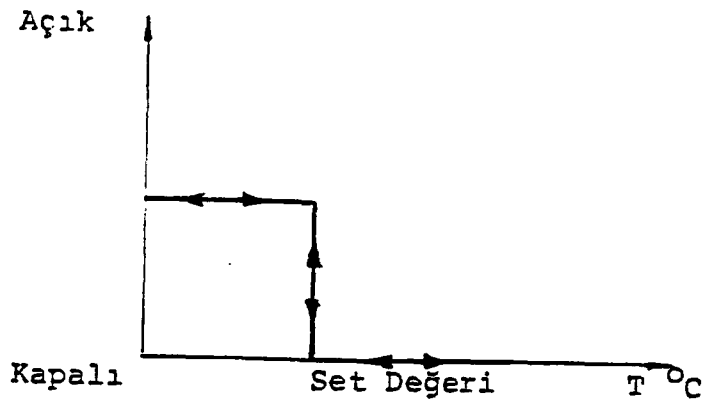
kapalıdır. Ayar değişkeni elektrik enerjisi olan bir sistemde kontrol cihazı, set değerinin altında elektrik enerjisini sisteme tamamen verir, set değerinin üstünde ise tamamen keser veya, tam tersi düşünülebilir.

Açık-Kapalı kontrolde kontrol altında tutulan değişken (sıcaklık), sürekli salınım halindedir. Set değerinin etrafında salınır. Bu salınımda tepeden tepeye değişim ve salınım sıklığı fırın karakteristiklerine bağlıdır. Şekil 2.6'da açık-kapalı kontrol cihazıyla kontrol edilen bir sistemin, sıcaklık-zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.6.: Açık-Kapalı Sıcaklık Kontrol (İdeal)

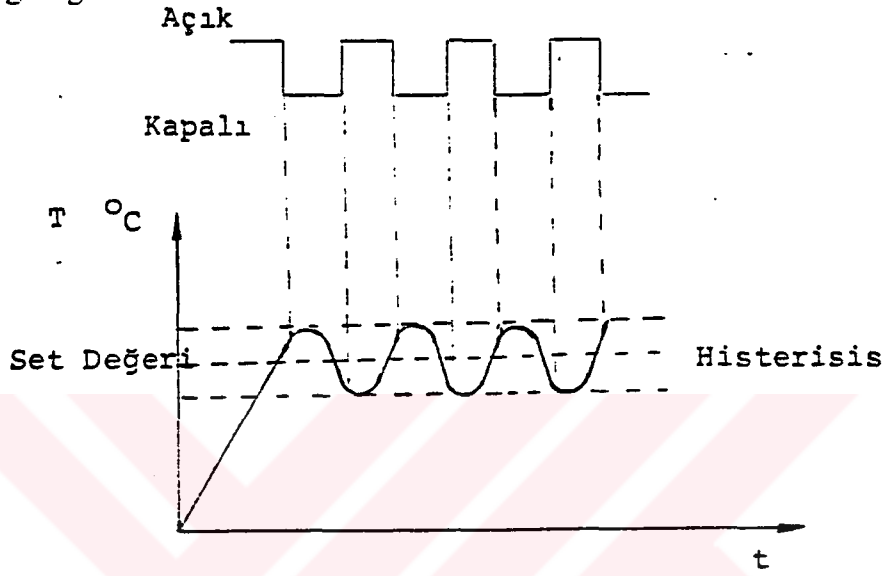
Bu tip bir kontrolün ideal transfer eğrisi ise şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7

Ancak pratikte bu tip ideal bir açık-kapalı kontrol sistemi kullanılmaz. Fırındaki bozucu faktörler ve elektriksel gürültü nedeniyle, set değeri geçişleri bu şekilde tek noktada olacak olursa sistem osülasyona geçer ve devamlı set değeri etrafında sık aralıklı

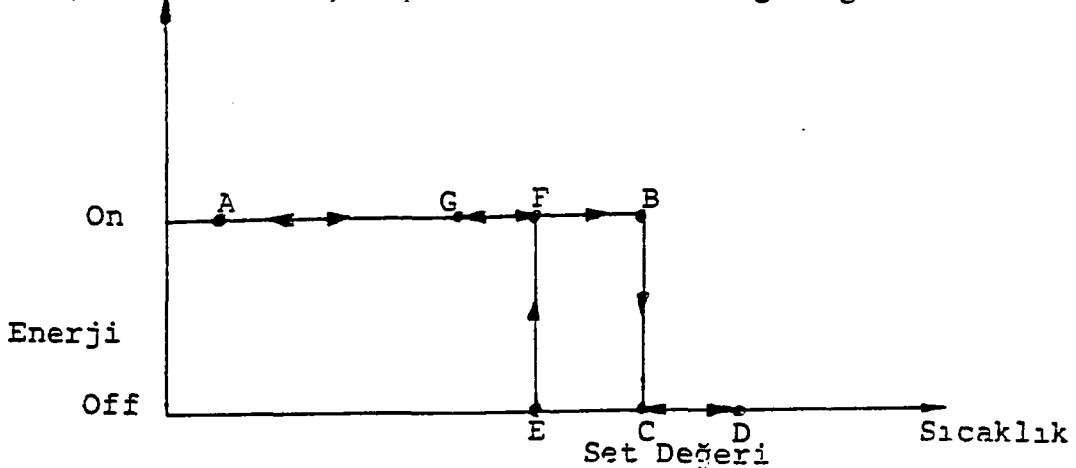
açma, kapama yapar. Özellikle bu durum son kontrol elemanlarının çok kısa sürede tahrip olmasına sebep olur. Bu durumu önlemek için set değeri geçişlerinde “histerisiz” ya da “sabit bant” oluşturulur. Şekil 2.8’de histerisizli ya da sabit bantlı açık-kapalı kontrol eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.8.: Histerisizli Açık-Kapalı Kontrol Eğrisi

Bu eğriden de anlaşılacağı üzere sıcaklık yükselirken, set değerini geçtiği anda enerji kesilmez, belli bir değere kadar yükselir ve o sabit değerden sonra kapanır. Sıcaklık düşmeye başlar, set değerine geldiği anda enerji açılmaz, set değerinin altına sabit bir değer kadar düşükten sonra açılır. Böylece set değerinin etrafında sabit bir sıcaklık bantı vardır. Bu bantın genişliği ya da darlığı tamamen fırından beklediğimiz özelliklere bağlıdır.

Şekil 2.9 histerisizli açık-kapalı kontrol formu transfer eğrisini göstermektedir.



Şekil 2.9.: Histerisizli Açık-Kapalı Kontrol Transfer Eğrisi

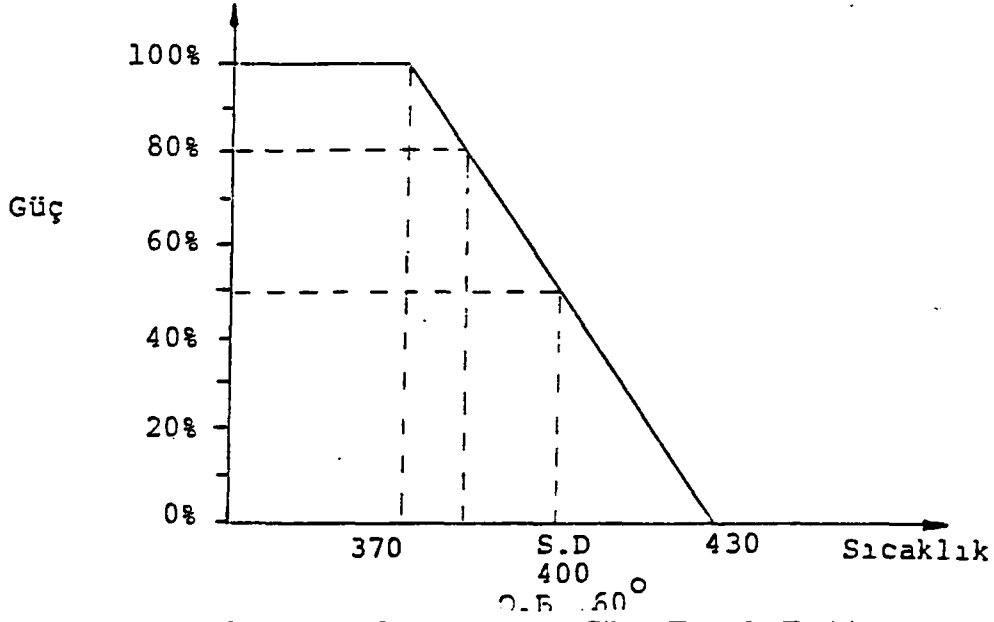
Isıtıcıya enerji verilmesine müteakip sıcaklık yükselmeye başlar. G,F ve set değerinde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Sıcaklık B noktasına geldiğinde ısıtıcının enerjisi kesilecektir. C noktasından D noktasına kadar sıcaklık kendi kendine bir miktar yükselip tekrar düşecek, C noktasında ve set değerinde ısıtıcı kapalı, ancak E noktasının altına düştüğü anda ısıtıcının enerjisi veriecektir. F noktasından G noktasına kadar sıcaklık, ısıtıcı açık olmasına rağmen kendi kendine düşüşe devam edip, G noktasından sonra tekrar bir önceki şekilde kontrol fonksiyonuna devam edecektir. Burada sabit band F ve B veya E ve C arasındaki sıcaklık fark değeridir.

Sistemlerde en yaygın olarak açık-kapalı kontrol kullanılmasına rağmen bu kontrol formunun yeterli olmadığı proseslerde bir üst kontrol formu olan oransal kontrol'a geçilir.

### 2.3.2. Oransal Kontrol (Proportional Control)

Oransal kontrolde kontrol cihazı fırının talep ettiği enerjiyi, sürekli olarak ayar değişkenini ayarlayarak verir. Gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge vardır. Elektrik enerjisi kullanılarak ısıtma yapılan bir fırında, oransal kontrol cihazı ısıtıcının elektrik enerjisini, fırının sıcaklığını set edilen değerde tutabilecek kadar, fırına gereksinim duyduğu kadar verir. Enerjinin % 0'dan, % 100'e kadar ayarlanabildiği, oransal kontrol yapılabilen sıcaklık aralığına ORANSAL BAND denir. Genel olarak oransal bandın cihazın tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri etrafında eşit olarak yayılır. Örneğin 1200°C'lik skalası olan bir cihazda % 5'lik bir oransal band demek  $0.05 \times 1200^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklık aralığıdır. Bu 60°C'lik aralığın 30°C'si set değerinin üzerinde, 30°C'si set değerinin altında yer alır ve bu kontrol cihazı 60°C'lik aralıkta oransal kontrol yapar.

Oransal kontrol cihazı transfer eğrisi Şekil 2.10'da görülmektedir.

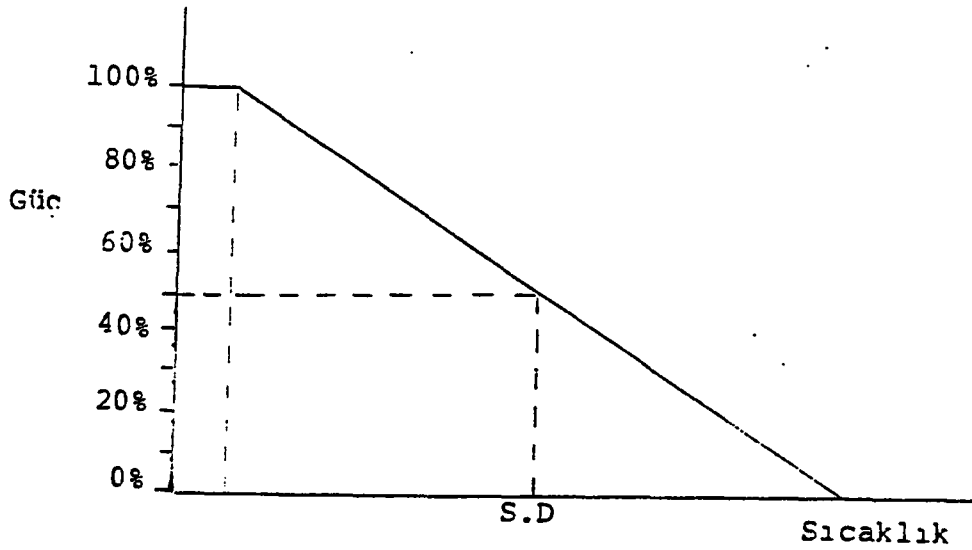


Şekil 2.10.: Oransal Kontrol Cihazı Transfer Eğrisi

Set değeri  $400^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanan, % 5 oransal band verilen bir oransal kontrol cihazında  $370^{\circ}\text{C}$  ve  $430^{\circ}\text{C}$ 'ler bandın uç noktalarıdır. Kontrol cihazı düşük sıcaklıklardan başlamak üzere  $370^{\circ}\text{C}$ 'ye gelinceye kadar ısıtıcılara % 100 enerji verilir, yani enerji tamamen açıktır.  $370^{\circ}\text{C}$ 'den itibaren set değeri olan  $400^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklık yükselirken ısıtıcıya verilen enerji yavaş yavaş kısılır. Set değerinde sisteme % 50 enerji verilir. Eğer sıcaklık set değerini geçip yükselmeye devam edecek olursa  $430^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar enerji giderek kısılır ve  $430^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine geçtiği takdirde artık enerji tamamen kapatılır. Yani sisteme % 0 enerji verilir. Sıcaklık düşüşünde anlatılanların tam tersi olacaktır. Oransal band örneğin % 2'ye düşürüldüğü takdirde :

$0.02 \times 1200^{\circ}\text{C} = 24^{\circ}\text{C}$ 'nin yarısı olan 12 derece üstte ve 12 derece altta olmak üzere köşe noktaları  $412^{\circ}\text{C}$  ve  $388^{\circ}\text{C}$  olacaktır.

Değişik fırınlarda ve değişik şartlarda duruma en uygun oransal band seçilerek oransal kontrol yapılır. Aynı sistemde geniş ve dar, iki farklı oransal banda örnek alalım. Şekil 2.11 de geniş oransal band seçilmiştir.



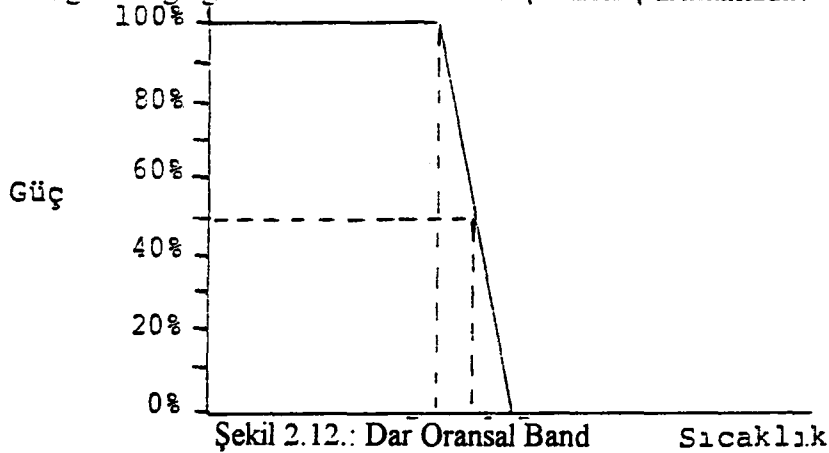
Şekil 2.11.: Geniş Oransal Band

Geniş seçilmiş bandda, küçük oranda enerji artışı büyük sıcaklık artışına sebep olur veya, küçük oranda enerji düşüşü büyük bir sıcaklık düşüşüne sebep olur. Şekil 2.12’de seçilen dar oransal bandda ise küçük bir sıcaklık artışı veya düşüşü sağlamak için, büyük oranda enerji artışı veya düşüşü yapmak gerekir. Bu bandı giderek daraltıp sıfırlayacak olursak, bu taktirde oransal kontrol cihazı açık-kapalı kontrol cihazı gibi çalışacaktır.

“Oransal band” birçok fırında tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı fırınlarda “kazanç” tanımı kullanılmaktadır. Oransal band ve kontrol cihazı kazanıcı arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

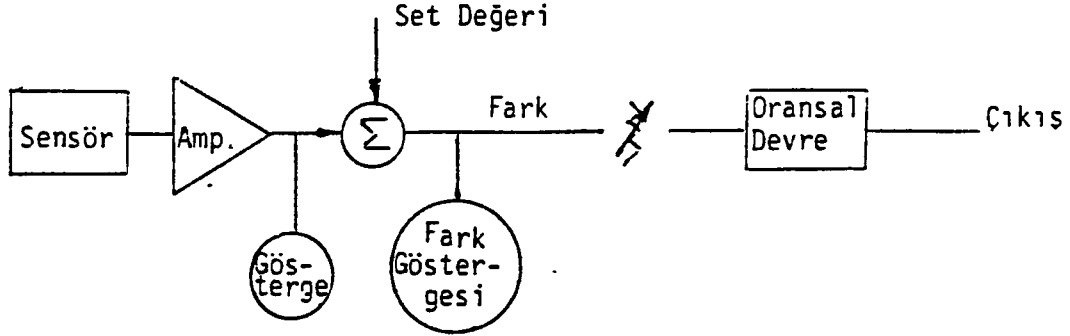
$$\text{Kazanç} = \frac{\% 100}{\% \text{ Oransal band}}$$

Böylece, görüldüğü gibi oransal band daraldıkça kazanç artmaktadır.



Şekil 2.12.: Dar Oransal Band

Oransal kontrolü blok şemalar ile açıklayacak olursak:

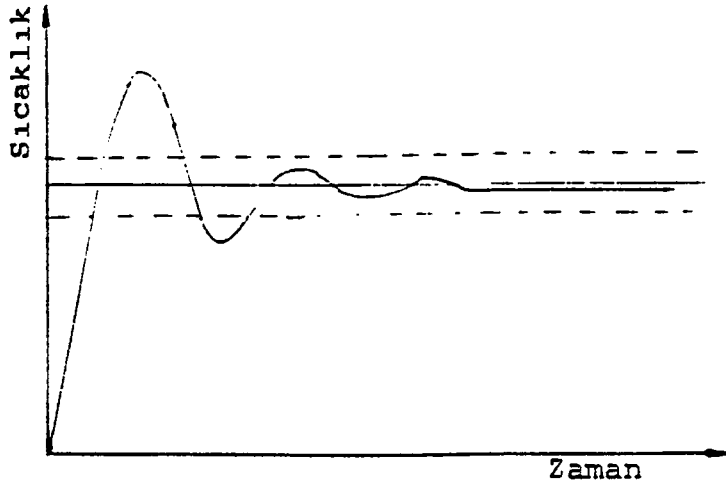


Şekil 2.13. Oransal Kontrol Blok Şeması

Şekil 2.13'de görüldüğü üzere, sensör yardımıyla algılanan sıcaklık sinyali ortam sıcaklık okpansasyonu yapıldıktan sonra yükseltici bir devreden geçerek set değeri ile karşılaştırılır. İki arasında fark alınarak hata değeri veya fark değeri bulunur.

Eğer bu değer (+) ise fırın, set edilen değerinin altındadır. (-) ise, fırın set edilen değerinin üzerindedir. (0) ise fırın set değerindedir.

Fark değeri oransal kontrol devresinden geçerek uygun çıkış formuna gelir. Fark değeri sıfır olduğu anda oransal çıkış % 50'dir. Yani, set değerinde çalışıyor demektir. % 50'lik çıkışı koruyup fırını tam set değerinde tutmak zordur. Denge durumuna gelinceye kadar sıcaklık değişimi olması, hatta sıcaklık değeri ile set değeri arasında belli bir fark kalması oransal kontrolün en belirgin özelliğidir. Set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı sıcaklık arasındaki farka offset denir. Offset'i azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi oransal band küçüldükçe, açık-kapalı kontrole yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir. Geniş oransal bandda da offset'in büyük olacağı düşünülerek fırına en uygun oransal bandın seçilmesi gerekir. Şekil 2.14'de en genel anlamda, oransal kontrol edilen bir sistemdeki sıcaklık eğrisini görüyoruz.

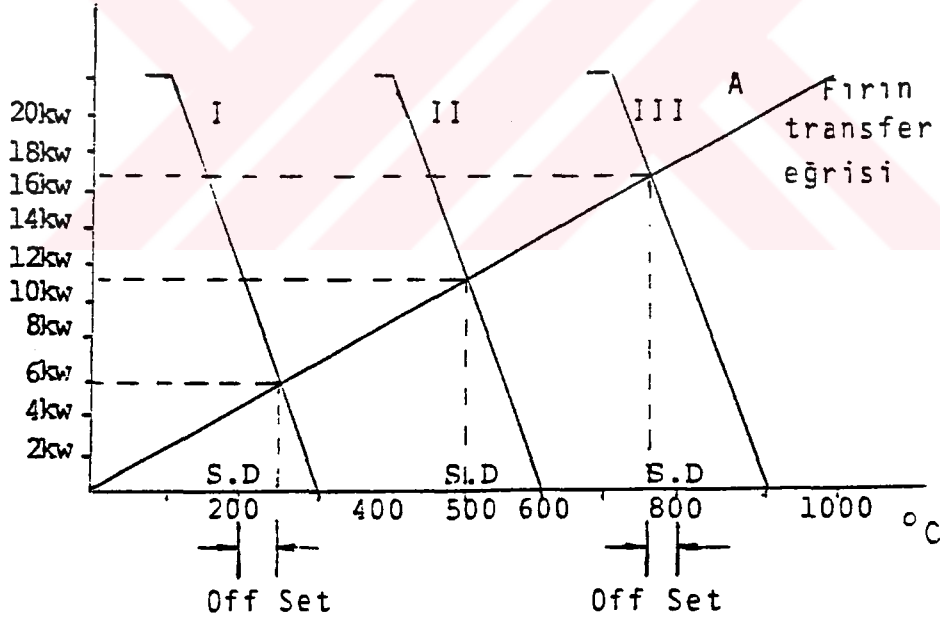


Şekil 2.14.: Oransal Kontrol Eğrisi

Sıcaklık yükselir, birkaç kere set değeri etrafında salınım yaptıktan sonra set değerinin üzerinde veya altında sabit bir sıcaklık farkı ile gelip oturur. Offset artı veya eksi olabilir. Bir fırında tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra örneğin, artı oluşan offset değeri fırında birkaç küçük değişiklik olması ile eksi değere gidebilir veya artı olarak yükselebilir.

Şekil 2.15 oransal kontrollarla kontrol edilen, belli bir transfer eğrisine sahip bir fırında, transfer eğrisi belli bir kontrol edicinin, farklı set değerleri seçmekle farklı offsetler oluşacağını göstermektedir.

Burada anlatım kolaylığı nedeniyle transfer eğrisi doğrusal seçilmiştir. A eğrisi fırının transfer eğrisidir. Kontrol edicinin transfer eğrisi ise aynı fırında değişik set noktalarına kaydırılmış I, II, III no'lu eğilerdir. Oransal band  $200^{\circ}\text{C}$  seçilmiştir.



Şekil 2.15. : Oransal Kontrolde Offset'in Oluşması

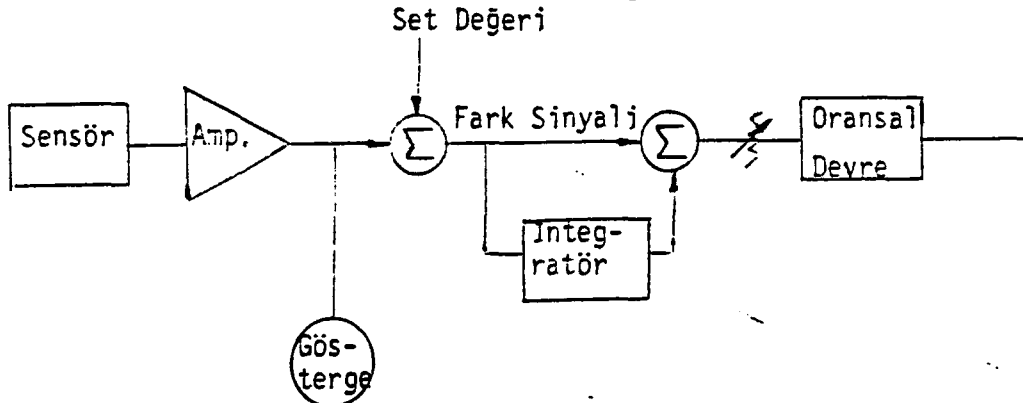
Üç ayrı set noktasında offset'i inceleyelim: Set değeri  $800^{\circ}\text{C}$  seçilen noktada fırın transfer eğrisi ile kontrol edici transfer eğrisi  $750^{\circ}\text{C}$ 'de kesişmektedir. Bu takdirde, fırında herşey aynı kalmak kaydı ile set değeri  $800^{\circ}\text{C}$  seçilecek olursa,  $-50^{\circ}\text{C}$ 'lik bir offset kaçınılmaz olacaktır. Set değeri  $500^{\circ}\text{C}$  seçilen noktada iki transfer eğrisi tam  $500^{\circ}\text{C}$ 'de

keşimektedir. Bu taktirde, % 50 enerjiye karşılık gelen 10 KW'lık bir enerji ile sistemde herhangi bir offset oluşmayacaktır. Set değeri 200°C seçilen noktada ise offset + 50°C olacaktır. Buradan çıkarabileceğimiz sonuç offset; fırın transfer eğrisine, oransal banda ve seçilen set değerine çok bağlıdır.

### 2.3.3. Oransal + Integral Kontrol

Oransal kontrolde oluşan offset, manuel veya otomatik olarak kaldırılabilir. Şekil 15'de 200°C'de seçilmiş olan set değerinde, kontrol edici transfer eğrisi sola doğru kaydırılıp, fırın transfer eğrisi ile tam 200°C üzerinde kesiştirilebilirse offset kalkacaktır. Bu işlem manuel de, otomatik de yapılabilir.

Otomatik resetleme için kontrol cihazı elektronik integratör devresi kullanılır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal band kaydırılmış olur. Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır, ve fırın sıcaklığı set değerine oturtulur. Integratör devresi, gerekli enerji değişikliğine, set değeri ile ölçülen değer arasında fark kalmayınca kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde bazı değişiklikler olup, sıcaklık değeri set değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi gerekli düzeltici etkiyi gösterir. Şekil 2.16 oransal+integral kontrol formunu blok şema halinde göstermektedir.



Şekil 2.16.: Oransal+Integral Kontrol Blok Şeması

Oransal integral kontrolün en belirgin özelliği; sistemin sıcaklığı, ilk başlatmada set değerini geçer, önemli bir miktar yükselme yapar (aşım).

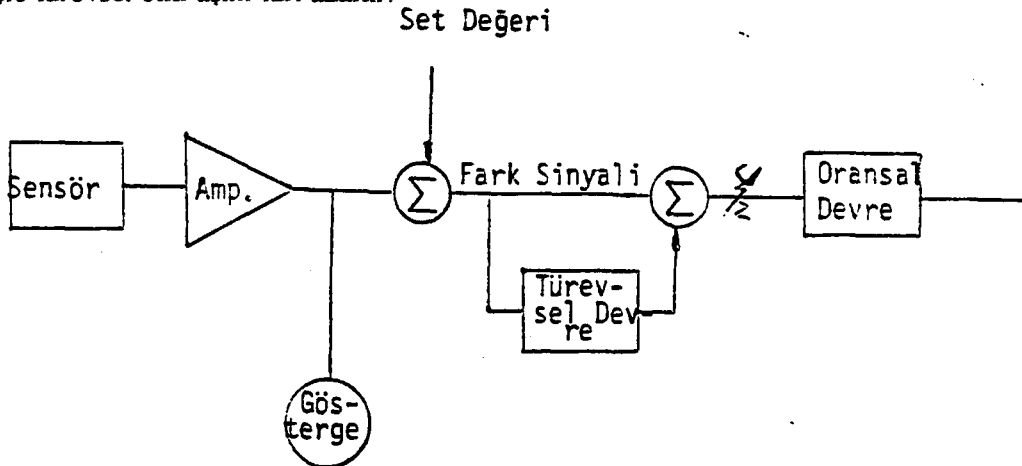
Set değeri etrafında bir-iki salınım yaptıktan sonra set değerine oturur. İlk yükselişte sıcaklığın set değerini belli bir miktar geçmesi (aşım) şu şekilde açıklanabilir: İntegral etki oransal bandın alt köşesine kadar oluşmaz, alt noktadan itibaren de fark sinyalinin integrali alınıp, düzeltilinceye kadar sıcaklığın set değerini önemli miktarda geçmesi kaçınılmaz olur.

#### 2.3.4. Oransal + Türevsel Kontrol

Oransal kontrolde oluşan offset, oransal+türevsel kontrol ile de kaldırılabilir. Sıcaklık değişimlerinin hızlı olduğu fırınlarda oransal bandı aşağı veya yukarı kaydırmak için türevsel etkiden yararlanılabilir. Kaydırma hızı sıcaklığın değişim hızına oranlıdır.

Oransal + türevsel 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 yapılmış olur. Şekil 2.17 blok şema halinde oransal türevsel kontrolü göstermektedir.

Türevsel etki oransal band içine girmeden başladığı için düzeltici etkisi hemen başlar. Bu yüzden sistemde ilk başlatma aşamasında aşırı aşım olması önlenir. Diğer bir deyişle türevsel etki aşım'ları azaltır.

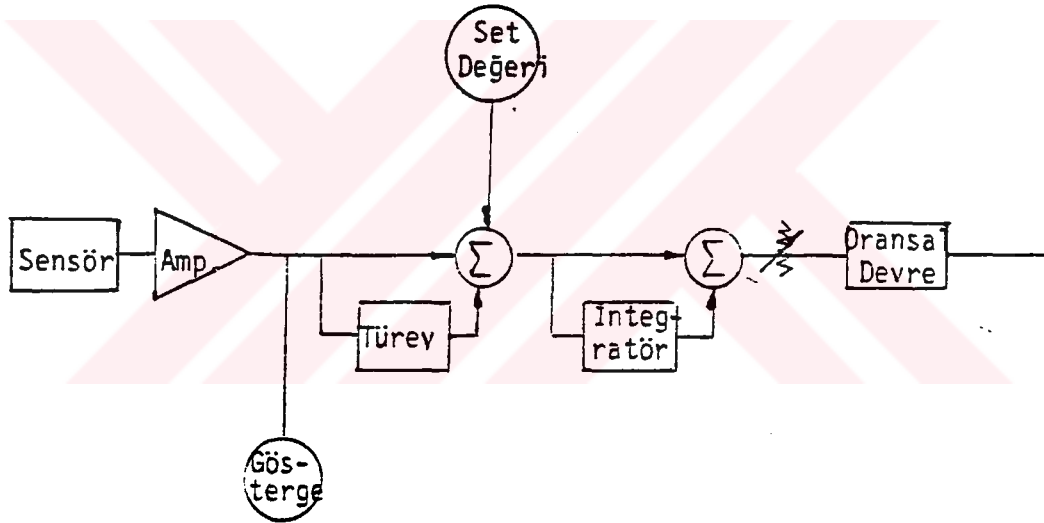


Şekil 2.17.: Oransal + Türevsel Kontrol Blok Şeması

### 2.3.5. Oransal + Integral + Türevsel Kontrol

Kontrolü güç, karmaşık sistemlerde oransal kontrol veya oransal + türevsel, oransal + integral kontrolün yeterli olmadığı durumlarda oransal + integral + türevsel kontrol tercih edilmelidir. Kısaca bu kontrolü tanımlayacak olursak: oransal kontrolde oluşan offset oransal + integral kontrollarla giderilir. Ancak, meydana gelen aşım'lar bu kontrole türevsel etkinin de eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir veya tamamen kaldırılır.

Şekil 2.18 oransal + integral + türevsel kontrolü blok şema halinde göstermektedir.



Şekil 2.18.: Oransal + Integral + Türevsel Kontrol Blok Şeması

Burada türevsel etki integratörden önce konulmuştur. Ölçülen sinyalin türevi alınır kendisi ile toplanır, set değeri ile fark alındıktan sonra da integratör devresinden geçirilir. Bu şekilde iki avantaj sağlanmış :

- 1) Türevsel etki set değerinden önce olduğu için set değeri değişimlerinden sistem önemli oranda etkilenmez.
- 2) Ayarlamaları uygun yapılmış bir sistemde aşım olmaksızın tatlı bir eğimle sıcaklık set değerine oturur. Sebebi ise sıcaklık set değerine ulaşıncaya kadar integratör devresinde türevi alınmış sinyalle fark sinyalinin toplamı yeterli seviyede bir değer oluşturur.

## BÖLÜM III

### ELEKTRİK REZİSTANS TİP ISITMALI BU 300 TİP POTALI ALUMİNYUM ERGİTME FIRINI DİZAYN VE HESAPLARI

Bu bölümde dizaynı ve imalatı, çalışmakta olduğum firmada, benim sorumluluğum altında gerçekleştirilen ve şu anda özel bir piston fabrikasında deneme aşamasında olan yukarıda belirtilen tip ve özellikteki alüminyum ergitme fırınına ait dizayn ve hesaplardan bahsedilecektir.

#### III.1. DİZAYN BİLGİLERİ

##### 3.1.1. KONSTRÜKSİYON

Fırın silindirik şekilli olup, tabanında ve yan duvarlarda 10 ve 6 mm'e DKP sac, üst kısımda ise kapağın altına gelen kısımda dökümden imal edilen ana gövde kapağı ve pota içi bilezik kullanılmıştır. Pota üstüne kapanan fırın kapağı ise yine 3 mm kalınlıkta özel bombelendirilmiş sacdandır. Diğer yandan ana gövde döküm kapakları ise ısı genleşmeleri sönmüleyebilmek için dökümden ve 4 adet olarak yapılmıştır. Pota içi döküm bilezik ise bu kapağın 4 kapağın ortasına binmekte ve tek parçadır.

##### 3.2.1. İZOLASYON

Fırın yan duvarlarında tamamı seramik elyaf olmak üzere 225 mm, pota üstü kapakta bombenin kenarına doğru kalınlığı azalan bölümünde 125 mm bombenin en üst noktasında ise 175 mm olmak üzere ortalama 150 mm izolasyon yapılmıştır. Tabanda ise üst kısmında 30 mm'e kalınlıkta refrakter beton altında 140 mm düşük yoğunluklu izolasyon betonu kullanılmıştır. seramik elyaf izolasyon malzemeleri 25 mm kalınlıkta olup 610 mm genişlikteki rulodan fırın yan duvarı ölçüsünde kesilerek 10 kat 225 mm'e sıkıştırılacak şekilde 310 kalite 5 mm seramik rezistans taşıyıcıları tutan paslanmaz çubuklara geçirilmiştir. Bu tipte, izolasyon, seramik rezistans taşıyıcı ve elektrik rezistans devresi daha önce yapılmamış olup bu şekilde hem rezistans devresi hemde seramik

elyaglar aynı çubuklara tesbit edilmiştir. Kullanılan seramik elyafın yoğunluğu arka bölümlerde  $128 \text{ kg/m}^3$  on iki hatda ise  $160 \text{ kg/m}^3$  tür. Bu şekilde, daha sonra sıkıştırılmaları nedeniyle uygun izolasyon yoğunluk ve kalınlığı elde edilmiştir.

### 3.1.3. ELEKTRİK REZİSTANS DEVRESİ

Fırında yan duvarları tamamen dönen 3 sıra halinde zikzak biçimli bükümlü bond rezistans teli kullanılmıştır. Telde her sırada 51 büküm olup rezistanslar bu bükümlerde yine 51'İ üst ve 49'u alta olmak üzere her sıra için 100 adet seramik tutucu kullanılarak sabitlenmiştir. Bu seramik tutucuları ise içlerine geçen ve ayrıca yapılmış olan iç iskelete kaynatılmış olan 310 kalite çubuklar tutmaktadır. Bu çubukları ayrı bir iç iskelede kaynatmanın sebebi ise direkt dış konstrüksiyona kaynatılacak 300 adet çubuktan olacak ısı kaybını önlemektedir. İç iskelet 40'lık köşebent üzerine takılan ve çubukların kaynatılacağı 6 sıranın karşılığına gelecek şekilde bulunan 6 mm kalınlıkta ve 50 mm genişlikteki bant şekilde kesilmiş saclardan oluşmaktadır. Aynı zamanda iç iskeletin fırın iç kısmına genişlemelere karşı 8 parça halinde yapılmıştır. Ayrıca fırında kullanılacak rezistans kalınlığını arttırabilmek ve daha kalın rezistansı fırın içine sığdırabilmek için bu fırında diğer fırınlardan farklı olarak üç faz değil iki faz kullanılarak tel hesabı buna göre yapılmıştır.

### 3.1.4. İÇ DİZAYN

Fırında kullanılacak pota BU 300 tip pota olup bu potalara üst dış çapı: 615 mm, taban dış çapı: 355 mm ve yüksekliği 700 mm dir. Dolayısıyla gerek pota etrafında ısının iyi yayılabilmesi ve gerekse arıza durumunda potanın rahat değiştirilebilmesi için aynı zamanda izolasyonuda tutan içe doğru uzanan rezistans taşıcılardan potanın en büyük çapının 90 mm uzakta olması sağlanmıştır. Ayrıca potada daha iyi ısı dağılımı sağlayabilmek amacıyla 100 mm kalınlığında bir pota altı dipçiği kullanılması fırında söz konusudur. Bunun yanında bu dipçik boyu 150 mm'e çıkartıldığında aynı fırını BU 250 tip bir pota ile dipçiksiz kullanımda ise BU 350 kg lık bir pota ile kullanmak mümkündür.

## III.2. FIRIN HESAPLARI

### 3.2.1. FIRIN GÜCÜNÜN HESABI

Bir alüminyum ergitme fırını için pota sıcaklığı 800°C, fırın iç duvarı sıcaklığı edilebilir. Bu kabuller ve fırın dizayn ölçülerine göre yapılan bilgisayar hesaplamaları

EK1, E2 ve EK3 de gösterilmiştir. Bunlara göre

Fırın dış yüzey sıcaklığı (225 mm izolasyon için)	52°C
Fırın kapak üst sıcaklığı (ortalama 150 mm izolasyon için)	64°C
Refrakter beton altsıcaklığı	748°C
İzole beton altı sıcaklığı (fırın dış alt yüzey sıcaklığı)	107°C
Seramik elyaf tarafından tutulan ısı	18000 kj
Refrakter ve izole beton tarafından tutulan ısı	79.682 kj/m <sup>2</sup>
Kapak tarafından tutulan	10.126 kj/m <sup>2</sup> dir.

	<u>Yüzey alanı (m<sup>2</sup>)</u>	<u>Sıcaklık (°C)</u>
Açık potanın yüzeyi	0,204	750°C
Kapak	0,502	64°C
Fırın	4,165	52°C
Fırın taban yüzeyi	1,328	107°C

	<u>Ağırlık (kg)</u>	<u>Özgül ısı (kj/kgK)</u>
Seramik Elyaf Duvarı	103,4	1,04
Refrakter Beton Fırın Tabanı	58,5	1,17
İzole Beton Fırın Tabanı	69,3	1,38
Seramik Elyaf Fırın Kapağı	14,27	1,04
Seramik Rezistans Taşıyıcı	24	0,83
310 Kalite Ø5 mm Pim (165 mm boyda)	7,1	0,46
Sic Pota	120 kg	0,37
Pota Altlığı	25 kg	0,37

Fırın gücü açısından ilk ısınma anındaki max güç ihtiyacı belirlenip ısıtıcı rezistans devresi hesabının bu değere göre yapılması fırının daha sonra bir otomatik kontrol ünitesine bağlanacağı düşünülürse enerji sarfiyatı açısından bir dezavantaj getirmeyecektir. Bu durumda fırına verilmesi gereken ısı

$$Q_v = Q_a + Q_i + Q_d + Q_f \text{ şeklindedir. Burada;}$$

$Q_v$  = Verilen ısı

$Q_a$  = Kapak açma kapamada kaçan ısı

$Q_d$  = Duvar kaybı

$Q_i$  = Isınma ısı kaybı

$Q_f$  = Faydalı ısıdır.

\* $Q_a$  - Kapak açma - kapamada oluşan ısı kaybı

Pota ağzından meydana gelen radyasyonun hesaplanması için bu kaybın işletme süresinin 3/4'ünde ve 750°C lik ortalama sıcaklıkta olduğu kabul edilebilir. Sıvı alüminyum için  $C_{1,2} = C = 12,6 \text{ kJ/m}^2\text{h.k}^4$  alındığında 20°C lik ortam sıcaklığı için

$$Q_a = 0,75 \cdot 0,204 \cdot 12,6 \left\{ \frac{(1023)^4}{100} - \frac{(293)^4}{100} \right\} = 20971 \text{ kJ/h olarak bulunur.}$$

\*  $Q_i$  - Isınma ısı kaybı

Fırındaki ısınma ısı değişik fırın bölgelerinin ısınma ısılarının toplamıdır. Fırının ısınmasının 8 saat sonra sona erdiği kabul edilebilir.

Fırın bölgelerinin ortalama sıcaklıkları :

$$\text{Seramik elyaf fırın duvarı} \quad \frac{850+52}{2} = 451^\circ\text{C}$$

$$\text{Refrakter Beton fırın tabanı} \quad \frac{850+748}{2} = 799^\circ\text{C}$$

$$\text{İzole Beton fırın tabanı} \quad \frac{748+107}{2} = 428^\circ\text{C}$$

$$\text{Fırın Kapağı} \quad \frac{850+64}{2} = 457^\circ\text{C}$$

Pota Altlığı	850°C
Pota	800°C
Seramik, Rezistans Taşıyıcı	800°C
310 Kalite Ø 5 mm pim	$\frac{800+400}{2} = 600^\circ\text{C}$
Çelik kısımlar	$\frac{107+52}{2} = 80^\circ\text{C}$

Bu durumda ısınma ısıları

Seramik elyaf fırın duvarı	$103,4 \cdot 1,04 (451-20) = 46.348 \text{ kj}$
Refrakter beton fırın tabanı	$58,5 \cdot 1,17 (790-20) = 53.319 \text{ kj}$
İzole beton fırın tabanı	$69,3 \cdot 1,38 (428-20) = 9.363 \text{ kj}$
Fırın kapağı	$14,27 \cdot 1,04 (457-20) = 6.489 \text{ kj}$
Pota altlığı	$25 \cdot 0,37 (850-20) = 7.677 \text{ kj}$
Pota	$120 \cdot 0,37 (800-20) = 34.632 \text{ kj}$
Seramik, rezistans taşıyıcı	$24 \cdot 0,83 (850-20) = 16.533 \text{ kj}$
310 kalite Ø5 mm pim	$7,1 \cdot 0,46 (600-20) = 1.895 \text{ kj}$
Çelik kısımlar	$700 \cdot 0,45 (80-20) = 18.900 \text{ kj}$

$$Q_1 = \frac{195.152}{8} = 24394$$

8

\*  $Q_d$  - Rejim halindeki fırın duvar kayıpları

Fırın dış kaplama yüzeyi	18.000 kj
Fırının taban yüzeyi	$1,328 \cdot 79,682 \text{ kj}$
Fırının kapağı	$0,502 \cdot 10,126 \text{ kj}$
Toplam	128.900 kj

$$Q_d = \frac{128.900}{8} = 16113 \text{ kj/h}$$

8

**\*  $Q_f$  - Faydalı ısıнын hesabı**

750°C Alüminyum erigiğinin ihtiva ettiği ısı miktarı 1170 kJ/kg olarak bilindiğinden saatte 90 kg Alüminyum eritmek için gerekli ısı miktarı

$$Q_f = 90 \cdot 1170 = 105.300 \text{ kJ/h}$$

**\*  $Q_v$  - Verilmesi gereken enerji**

Bulunan değerlere göre verilmesi gereken enerji

$$\begin{aligned} Q_v &= Q_a + Q_1 + Q_d + Q_f \\ &= 20971 + 24394 + 16.112 + 105.300 \\ &= 166777 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

$Q_v = 46,3 \text{ kWh}$  olarak bulunur.

### 3.2.2. REZİSTANS SİSTEMİ HESAPLARI

Fırınlarda rezistans sistemleri açısından (özellikle küçük fırınlarda) yaşanan problemlerden biri istenilen güce göre hesaplanan teli fırın içine uygun biçimde yerleştirebilmektedir.

Diğer yönden tel ömrü açısından ise telin kalın kesitli ve telin  $\text{cm}^2$ 'sinden alınan ısı gücü olarak nitelendirilebilecek olan ve fırın sıcaklığı ile rezistans sistemine göre müsaade edilebilir max değeri değişen yüzey yükü değerinin düşük olması gerekir. (EK4)

Ancak kalın kesitli yapmamız yüzey yükünü düşürken, aynı akım altında telin boyunun daha tutulmasını gerektirdiğinden bu kez teli fırın içine sığdırmak çok zorlaşır. Bu birbirine zıt iki dengeyi kurabilmek bu nedenle bu tip fırınlarda çok zordur. Ancak yinede müsaade edilebilir yüzey yükü değeri, boru üzerine ve oluklu tuğla içine yerleştirilen spiral sarımlı yuvarlak kesitli tel rezistans sistemine göre daha yüksek olmasına rağmen kullanılması tam gerçekleştirilmeyen zig zag U biçiminde bükülmüş rezistans sistemi bu fırında kullanılmıştır

Bu amaçla şebeke ceryanın 3 fazı yerine 2 fazı kullanılarak fırın içersindeki 3 sıra rezistans birbirine seri bağlı olarak dizayn edilmiş ve bu seri bağlı sistemin iki ucu direkt iki faza bağlanmıştır. Bu şekilde oluklu tuğla veya boru üzerine yerleştirilen spiral rezistans teli sistemlerine göre uzun tel boyunun sınırları yere yerleştirilmesi sırasında tellerin birbirine çok yakın ve yüksek yüzey yükü altında sarılmasından dolayı sık sık olan kopmalar önlenmiş ve tel ömrü oldukça arttırılmıştır. Zira çok düşük yüzey yükü değerlerine inebilmek mümkün olmuştur.

Bu sistemin iki faz arasında sürekli çalışması şebekede dengâsizlik yaratabileceği bir dezavantaj gibi görünsede bu olayda üç faz girişli ancak iki faz çıkışlı bir transformatör ile rahatlıkla önenebilir.

Aşağıda hesaplar bükümlü band rezistans sistemine göre yapılmıştır

$$\text{GÜÇ} \quad : P = 47500 \text{ w}$$

$$\text{SICAKLIK} \quad : T = 850^{\circ}\text{c}$$

$$\text{GERİLİM} \quad : U = 380 \text{ V}$$

$$\text{AKIM} \quad : I = \frac{P}{U} = \frac{47500}{380} = 125 \text{ A}$$

$$U = 380$$

$$\text{DİRENÇ} \quad : R = \frac{U}{I} = \frac{380}{125} = 3,04 \Omega$$

$$I = 125$$

$$\text{SERİ BAĞLI REZİSTANS SAYISI} \quad : 3$$

$$1\text{- REZİSTANSA DÜŞEN GÜÇ} \quad : P_1 = 15833,3 \text{ W}$$

$$\text{“ “ “ GERİLİM} \quad : U_1 = 126,6 \text{ V}$$

$$\text{“ “ “ DİRENÇ} \quad : R_{T1} = 1,01 \Omega$$

REZİSTANS ÇIKIŞ TERMİNALLERİ : Yuvarlak 300 mm uzunlukta

$$\text{MİN. TERMİNAL ÇAPI HESABI} = du = 0,4 (I)^{2/3}$$

$$du = 0,4 (125)^{2/3} = 10 \text{ mm}$$

Ø 10 mm terminal olmasına rağmen emniyet açısından Ø 16 mm seçilmiştir.

Malzeme : KANTHAL D

Soğuk direnç hesabı

$$R_{20} = \frac{R_T - R_u}{C_t}$$

$R_u$  = Terminal direnci (EK5)

$$R_{20} = \frac{1,01}{1,05} - 2 \times 0,30 \times 0,0067$$

$C_t$  = Sıcaklık faktörü (EK6)

$$R_u = 0,0067 \text{ } \Omega/\text{m}$$

$$R_{20} = 0,957 \text{ } \Omega$$

$$C_t = 1,06$$

Teorik Hesap Yöntemi :

Band Rezistans Kalınlık Hesabı (t)

$p$  = max. Yüzey yükü [ $\text{W}/\text{cm}^2$ ]

$$t = \left[ \frac{I^2 \cdot \rho \cdot C_t}{p \cdot n \cdot (1+n) \cdot 20} \right]^{1/3}$$

$\rho$  = Özgüldirenç [ $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ]

$C_t$  = Sıcaklık faktörü (EK6)

$$t = \left[ \frac{125^2 \cdot 1,39 \cdot 1,05}{5,8 \cdot 12 \cdot 13 \cdot 20} \right]^{1/3} = 1,12 \text{ mm}$$

$n$  = Genişlik / kalınlık

$p = 5,8 \text{ W}/\text{cm}^2$  (ON-OFF Kontrol için)

$$n = 12$$

$t = 1,5 \text{ mm}$  seçilen kalınlık

$b = 12 \cdot 1,5 \text{ mm}$  (Tel genişliği)

Seçilen bant rezistans KANTHAL AF 1,5 x 20 mm

Band Rezistans Boyu ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{R_{20}}{\Omega/\text{M}}$$

$\Omega/\text{m}$  = birim direnç değeri (EK6)

$$\rho = \frac{0,057}{0,0463} = 20,67 \text{ m}$$

Gerçek Yüzey Yüğü ( $p$ )

$$p = \frac{I^2 \cdot C_t}{\text{cm}^2/\Omega}$$

$\text{cm}^2/\Omega$  \_\_\_\_ (EK6)

$$p = \frac{125^2 \cdot 1,05}{9280} = 1,76 \text{ W/cm}^2$$

**Büküm yarı çapı ( r )**

Kullanılan seramik taşıyıcıların çapı min. büküm çapını da belirlemiş olmaktadır. Kullanılan taşıyıcıların çapı 24 mm dir. Bu nedenle  $r = 12 \text{ mm}$  dir.

**Büküm boyu (H max)**

Telmontajına elverişli duvar yüksekliği 740 mm ve bu yüksekliğe monte edilecek rezistans adedi 3 olduğundan bir rezistans için  $\frac{740}{3} \cong 246,6 \text{ mm}$ /rezistans olmaktadır.

3

Ancak bunlar arasında da ~ %25 gibi bir boşluk bırakmak gerekir. Bu nedenle

$H_{\max} = 246,6 \times 0,75 = \sim 185 \text{ mm}$  olmalıdır. Bu boy o sıcaklıkta olması gereken max büküm boyu açısından oldukça uygundur. (EK4)

**Büküm adedi (N)**

$$N = \frac{0,5 \cdot 1}{H + 1,14r - 0,43 t}$$

$$H + 1,14r - 0,43 t$$

$$N = \frac{0,5 \cdot 20670}{195 + 1,14 \cdot 12 - 0,43 \cdot 1,5}$$

$$195 + 1,14 \cdot 12 - 0,43 \cdot 1,5$$

$$N = 49,6 \quad N = 50 \text{ Adet büküm}$$

**Bükümler arası aksenal mesafe (s)**

$$s = \frac{\text{Bir rezistans için kullanılabilir duvar uzunluğu}}{N}$$

N

$$s = \frac{2550}{50} = 51 \text{ mm}$$

50

Diğer yandan  $S > 4r + 2t$  olmalıdır.

$$4r + 2t = 4 \cdot 12 + 2 \cdot 1,5 = 51 \text{ mm}$$

$S = 4r + 2t$  sistem uygundur.

### Rezistans Sıcaklığı hesabı

$$\text{Form faktörü} \quad \delta = \frac{b+t+s/2 - [((s^2/4) + b^2)]^{1/2}}{b+t}$$

$$\delta = \frac{20 + 1,5 + 51/2 - [(51^2/4) + 20^2]^{1/2}}{20 + 1,5}$$

$$\delta = 3,69$$

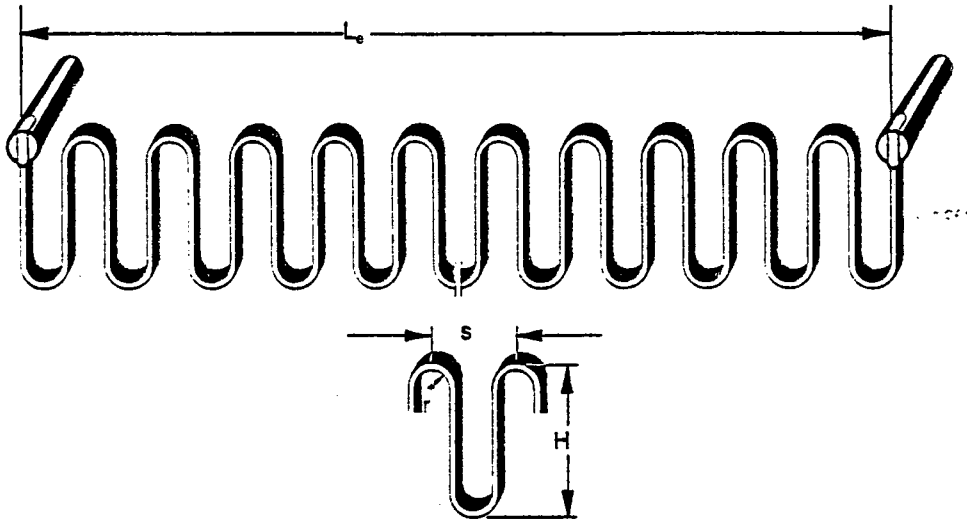
### Rezistans sıcaklığı

$$T_R = \left[ \frac{P}{\epsilon \cdot \rho \times 5,67 \cdot 10^{-12}} + (T + 273)^4 \right]^{1/4} - 273$$

$\epsilon = 0,7$  (Emissivite)

$$T_R = \left[ \frac{1,76}{0,7 \cdot 3,69 \times 5,67 \cdot 10^{-12}} + (850 + 273)^4 \right]^{1/4} - 273$$

$$T_R = 870^\circ\text{C}$$



Şekil 3.1. Sistemin Şematik Görüntüsü

### Pratik Yol ile Tel Ölçülerinin Belirlenmesi

Tel üzerine etkileyecek akım hesaplandıktan sonra EK4 te verilen tablodan kullanılacak sistem ve sıcaklığa göre olabilecek max yüzey yükü değeri bulunur. (Bu bulunan değer eğer kontrol ünitemiz thyristor kumandalı değil ise %20 lik bir emniyet payı daha eklenerek %80 ince indirilmelidir.) Daha sonra P, C<sub>t</sub> ve I değerleri yüzey yükü yerine konarak cm<sup>2</sup>/Ω değerinin minimum değeri hesaplanır. Bundan sonra EK6 dan seçilecek ve hesaplanan cm<sup>2</sup>/Ω değerinden yüksek cm<sup>2</sup>/Ω değerine sahip herhangi bir tel (fırın içine olacak şekilde) kullanılabilir.

Örneğin 30 kw lik trifaze ve rezistansların boru üzerine sarılacağı 1000°C çalışma sıcaklığı olan bir fırın için tel çapını belirleyecek olursak

$$P = 30 \text{ kw}$$

$$P_1 = 10000 \text{ W}$$

$$U = 380 \text{ V}$$

$$I = 26,31 \text{ A} \Rightarrow \text{Bu sistem için } P_{\text{max}} = 4 \text{ W/cm}^2$$

ancak kontrol ünitesi ON-OFF kumandası ise

$$P_{\text{max}} = 4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ W/cm}^2$$

$$\text{buradan } P = \frac{I^2 \cdot C_t}{C_m^2 / \Omega} \Rightarrow \text{cm}^2 / \Omega > \frac{I^2 \cdot C_t}{P} \text{ olmalıdır.}$$

$$\text{cm}^2 / \Omega = \frac{26,31^2 \cdot 1,06}{3,2} = 229$$

Bu sonuca göre EK6 daki tablodan minimum kullanılması gerekli tel çapının Ø 2,5 mm olduğu kolayca bulunabilir.

## SONUÇ

Yapılan incelemelerde fırnlarda enerji tasarrufu açısından izolasyon, artık ısının geri kazanımı ve kontrol sistemlerinin büyük rol oynadığı görülmüştür. İzolasyon konusunda 1500°C lere kadar seramik elyaf kullanımı daha önce aynı sıcaklıklarda refrakter tuğla kullanımına göre yeni bir çağ açarak gerek kullanım gerekse enerji tasarrufu açısından çok büyük avantajlar getirmiştir. Bu incelenen bölümlerde sunulan gerek grafik gerekse tablolarda da ortaya konmuştur. Yine aynı şekilde atık ısının geri kazanılmasında büyük enerji tasarrufu sağladığı ve bu nedenle özellikle sıcaklıklarda bu sistemlerin kullanımının ne kadar önemli ve gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç ise reküperatörlü kullanıldıklarında eski durumlarına göre %35-40 arası değerlere varan enerji tasarrufu sağladıklarını gösteren ve yine incelenen bölümde sunulan tablo ile ortaya konmuştur. Otomatik kontrol sistemlerinde ise enerji tasarrufu açısından, oransal ve integralik kontrollerin yalnız veya birlikte kullanılmalarna göre oransal + integralik + türevsel kontrolün en uygun sistem olduğu görülmektedir. Ancak yinede bir sistemin otomatik kontrolünde kontrol cihazını seçerken göz önüne alınması gereken iki faktörden birisi fırın için ne kadar kontrol hassasiyeti gerektiği diğeri ise fırının kontrol edilebilirlik güçlüğüdür. Zira bazı fırnlarda en iyi kontrol cihazı kullanılsa dahi beklenen elde edilemiyebilir. Böyle durumlarda fırın dizaynında hata aramak gerekir. Seçimi yapılacak kontrol cihazının gerekli hassasiyeti sağlaması şartıyla ayarlamaların kolay olması, işletmeye gereksiz yük getirmemesi ve ekonomik olması da gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- 1) KAKAÇ, Sadık, Örneklerle Isı Transferi, O.D.T.Ü. 1970, Ankara
- 2) Kanthal Handbook, Firma yayını, 1992, Ürebro, İsveç
- 3) Kerlane Seramik elyaf ürün kataloğu, Firma yayını, Paris
- 4) Kıltaş Monolitik refrakter ürün kataloğu, Firma yayını, İstanbul
- 5) Refsan refrakter malzeme sanayi ve ticaret ürün kataloğu, Firma yayını, İstanbul
- 6) Rubert H.Perry / Cecil H.Chilton, Chemical Engineers Handbook, Fifth Edition, 1973, Japonya
- 7) Teknotherm Ltd. Ürün Kataloğu, Firma yayını, 1992, İstanbul
- 8) TOPBAŞ, M.Ali, Endüstri Fırınları Cilt 1, Yıldız, 1991, İstanbul
- 9) TOPBAŞ, M.Ali, Endüstri Fırınları Cilt 2, Yıldız, 1992, İstanbul
- 10) TRINKS, W, Industrial Furnaces I, 1961, Pennsylvania
- 11) TRINKS, W, Industrial Furnaces II, 1961, Pennsylvania

## ***EKLER***

**EK-1 : BU-300 POTALI FIRIN YAN DUVARLARI İÇİN İZOLASYON HESAPLARI  
BİLGİSAYAR SONUÇLARI**

**EK-2 : BU-300 POTALI FIRIN KAPAĞI İÇİN İZOLASYON HESAPLARI  
BİLGİSAYAR SONUÇLARI**

**EK-3 : BU-300 POTALI FIRIN TABANI İÇİN İZOLASYON HESAPLARI  
BİLGİSAYAR SONUÇLARI**

**EK-4 : REZİSTANS YÜZEY YÜKÜ TABLOSU VE ÖNERİLEN MAXİMUM  
BÜKÜM BOYU DEĞERLERİ**

**EK-5 : TERMİNAL DİRENÇ VE AĞIRLIKLARI TABLOSU**

**EK-6 : KANTHAL AF REZİSTANS İÇİN GENEL DEĞERLER TABLOSU**

**EK-7 : TERMİNALLERİN KAYNAK ŞEKLİ**

**EK-8 : HAZIR SERAMİK ELYAF MODÜL İLE FIRIN İZOLASYONUN YAPILIŞ  
METODU**

**EK-9 : BU 300 POTALI FIRIN DETAYI**

**EK-10: YAKITLARIN DUMAN GAZLARININ SABİT BASINÇTA ORTALAMA  
ÖZGÜL ISILARI**

# EK-1

**Wärmedurchgangsrechnung** ||

Stationärer Zustand eines Aufbaus, bestehend aus 2 Schicht(en).  
 Umgebungsbedingung: Luft von normaler Zusammensetzung und Feuchte  
 Schicht 1 = Keramikfaser-Matte 128 kg/m<sup>3</sup> KFT 1260°C  
 Schicht 2 = Keramikfaser-Matte 128 kg/m<sup>3</sup> KFT 1260°C  
 Senkrechter Zylinder. Wärmeverlauf erfolgt logarithmisch.

Material-Name	Stärke in m	Lambda WmK	geometr. Mittelt.	Gewicht kg/m <sup>2</sup>	Speicher-Wärme Wm <sup>2</sup>	Temperatur °C
Intemperatur						850
.260/128,A	0.165	0.136	638	24.77	4491.2	401
.260/128,A	0.060	0.057	247	8.06	508.7	52
Umgebungstemp.						20
Emissionszahl aussen = 0.8				Wärmeübergangszahl $\alpha$ Wm <sup>2</sup> =		10.0
Windgeschwindigkeit in m/s = 0				Wandverlust in W/lfm		1290
Wandstärke total in m = 0.225				Gewicht total in kg/lfm=		32.8
Speicherwärme total KJlfm 18000				Speicherwärme total Wlfm=		5000
Innendurchmesser in m = 0.850				Aussendurchmesser in m =		1.300

Nominelle Wandstärke durch logarth. Zuschlag		
Schicht	Stärke	Stärke inkl. Zuschlag
1	0.165	0.194
2	0.060	0.063

**Wärmedurchgangsrechnung** ||

Stationärer Zustand eines Aufbaus, bestehend aus 2 Schicht(en).  
 Umgebungsbedingung: Luft von normaler Zusammensetzung und Feuchte  
 Schicht 1 = Keramikfaser-Matte 128 kg/m<sup>3</sup> KFT 1260°C  
 Schicht 2 = Keramikfaser-Matte 128 kg/m<sup>3</sup> KFT 1260°C  
 Senkrechter Zylinder. Wärmeverlauf erfolgt logarithmisch.

Material-Name	Stärke in m	Lambda WmK	geometr. Mittelt.	Gewicht kg/m <sup>2</sup>	Speicher-Wärme Wm <sup>2</sup>	Temperatur °C
Intemperatur						850
.260/128,A	0.165	0.136	638	24.77	4491.2	401
.260/128,A	0.060	0.057	247	8.06	508.7	52
Umgebungstemp.						20
Emissionszahl aussen = 0.8				Wärmeübergangszahl $\alpha$ Wm <sup>2</sup> =		10.0
Windgeschwindigkeit in m/s = 0				Wandverlust in W/lfm		1290

## EK-2

Wandstärke total in m = 0.225	Gewicht total in kg/lfm= 32.8
Speicherwärme total KJlfm 18000	Speicherwärme total Wlfm= 5000

Innendurchmesser in m = 0.850	Aussendurchmesser in m = 1.300
-------------------------------	--------------------------------

Thermische Wandstärke durch logarth. Zuschlag

Schicht	Stärke	Stärke inkl. Zuschlag
1	0.165	0.194
2	0.060	0.063

**Wärmedurchgangsrechnung** ||

Umgebungsbedingung: Luft von normaler Zusammensetzung und Feuchte  
stationärer Zustand einer Ofen-Wand bestehend aus 1 Schicht(en).  
Schicht 1 = Keramikfaser-Matte 128 kg/m<sup>3</sup> KFT 1260°C

Material-Name	Stärke in m	Lambda WmK	geometr. Mittelt.	Gewicht kg/m <sup>2</sup>	Speicher-Wärme Wm <sup>2</sup>	Temperatur °C
Intemperatur						800
260/128,A	0.150	0.098	481	19.20	2812.8	64
Umgebungstemp.						20

Emissionszahl aussen $\epsilon = 0.8$	Wärmeübergangszahl $\alpha_a$ Wm <sup>2</sup> = 10.8
Windgeschwindigkeit in m/s = 0	Wandverlust in Wm <sup>2</sup> = 482
Wandstärke total in m = 0.150	Gewicht total in kg/m <sup>2</sup> = 19.2
Speicherwärme total KJm <sup>2</sup> = 10126	Speicherwärme total Wm <sup>2</sup> = 2813

**Wärmedurchgangsrechnung** ||

Umgebungsbedingung: Luft von normaler Zusammensetzung und Feuchte  
stationärer Zustand einer Ofen-Wand bestehend aus 1 Schicht(en).  
Schicht 1 = Keramikfaser-Matte 128 kg/m<sup>3</sup> KFT 1260°C

Material-Name	Stärke in m	Lambda WmK	geometr. Mittelt.	Gewicht kg/m <sup>2</sup>	Speicher-Wärme Wm <sup>2</sup>	Temperatur °C
Intemperatur						800
260/128,A	0.150	0.098	481	19.20	2812.8	64
Umgebungstemp.						20



# Element surface load

Since KANTHAL alloys can be operated at higher temperatures than NIKROTHAL alloys, a higher surface loading can be achieved without jeopardizing the life. Element design is also of great importance. The more freely radiating the element form, the higher the maximum surface load. Therefore the R.O.B. (Rod Over Bend) type element (corrugated heavy wire, mounted on the surface), can be loaded the highest, followed by the corrugated strip element.

Spiral elements on ceramic tubes can be loaded higher than spiral elements in grooves.

The values in Fig. 4 are given for the following design conditions:

### Element a

Wire and strip element in grooves. Wire diameter min. 3 mm, 0.12 in, strip thickness min. 2 mm, 0.08 in.

### Element b

Wire element on ceramic tube  
Wire diameter min. 3 mm 0.12 in.

### Element types c (strip) and d (heavy wire)

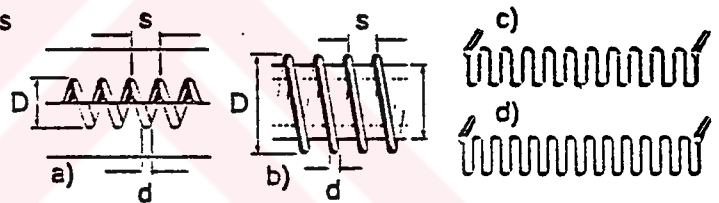
Strip thickness min. 2.5 mm, 0.1 in. Wire diameter min. 5 mm, 0.2 in. Pitch min. 50 mm, 2.0 in at maximum loop length and maximum surface load.

Maximum recommended loop length:

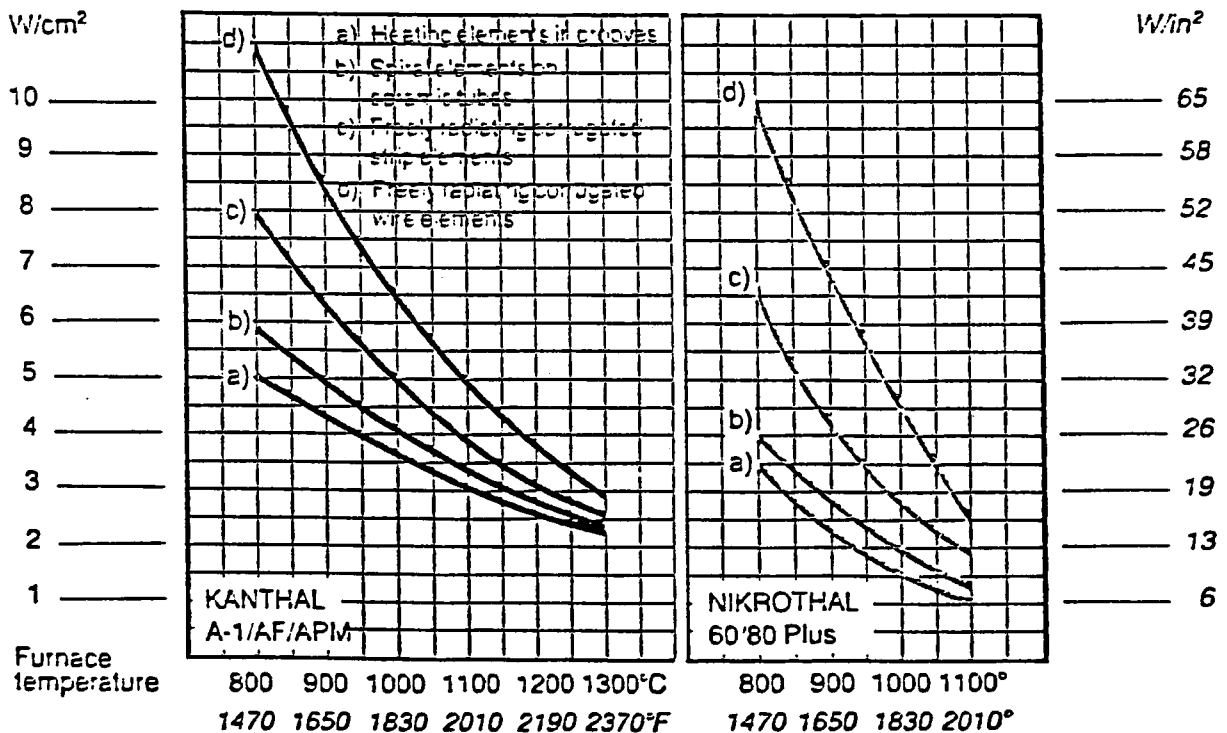
>900°C	>1650°F	300 mm	11.8 in
1000°C	1830°F	250 mm	9.8 in
1100°C	2010°F	200 mm	7.9 in
1200°C	2190°F	150 mm	5.9 in
1300°C	2370°F	100 mm	3.9 in

For finer wire diameters and smaller strip thicknesses lower surface loads and shorter loop length must be chosen to avoid element deformation and subsequent shorter element life.

Fig. 4 Maximum recommended surface loads for KANTHAL and NIKROTHAL alloys in industrial furnaces.



$D = (5-8)d$     $s = (2-3)d$     $D = (10-14)d$     $s = (3-6)d$



Note: The diagram is valid for thyristor control. For on-off control lower surface loads should be chosen. (About 20%).

# Terminals

## Resistance and Weight Data

Material	Resistivity $\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$	Density $\text{g/cm}^3$
KANTHAL APM .....	1,45 .....	7,10
KANTHAL D .....	1,35 .....	7,25
KANTHAL A-1 .....	1,45 .....	7,10
NIKROTHAL 80 Plus .....	1,09 .....	8,3
NIKROTHAL 40 Plus .....	1,04 .....	7,9

Dimensions mm	Resistance $\Omega/\text{m}$	Weight g/m
<b>KANTHAL D</b>		
8 .....	0,0269 .....	364
10 .....	0,0172 .....	569
12 .....	0,0119 .....	820
16 .....	0,0067 .....	2280
20 .....	0,0043 .....	2280
<b>KANTHAL A-1 and APM</b>		
8 .....	0,0288 .....	357
10 .....	0,0185 .....	558
12 .....	0,0128 .....	803
16 .....	0,0072 .....	1430
20 (APM only) .....	0,0046 .....	2232
<b>NIKROTHAL 80 Plus</b>		
8 .....	0,0217 .....	417
10 .....	0,0139 .....	652
12 .....	0,0094 .....	939
16 .....	0,0054 .....	1670
20 .....	0,0035 .....	2610
<b>NIKROTHAL 40 Plus</b>		
8 .....	0,207 .....	397
10 .....	0,0132 .....	620
12 .....	0,0092 .....	893
16 .....	0,0052 .....	1590

# KANTHAL AF

Wire and strip. Standard stock items.

Resistivity  $1.39 \Omega \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$ . Density  $7.15 \text{g cm}^{-3}$ . To obtain resistivity at working temperature, multiply by factor  $C_t$  in following table.

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
$C_t$	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07

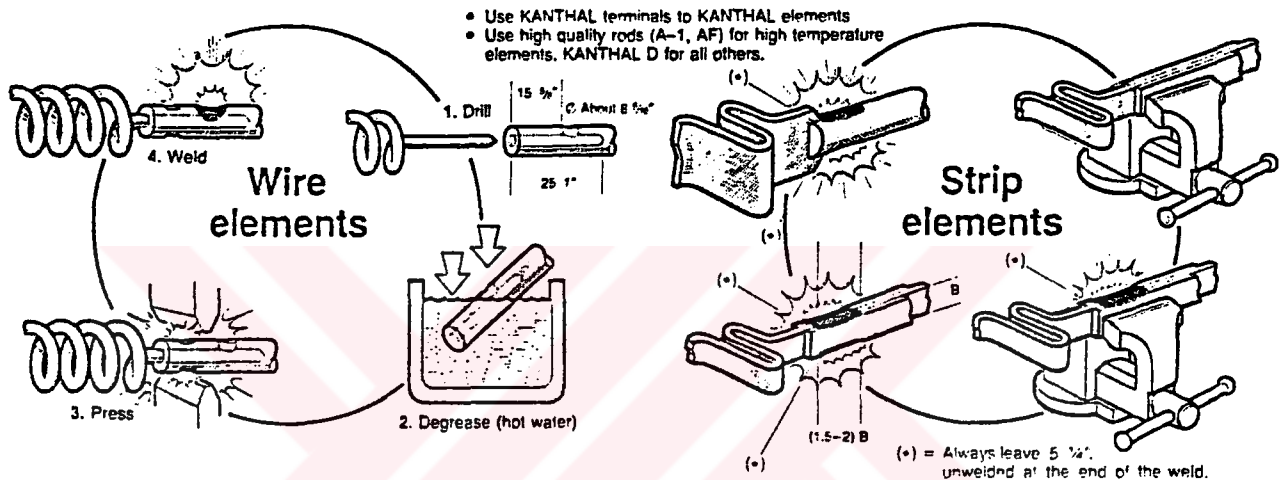
Wire dia mm	Resistance $\Omega/\text{m } 20^\circ\text{C}$	Weight g/m	$\text{cm}^2/\Omega$ $20^\circ\text{C}$	Strip WxT mm	Resistance $\Omega/\text{m } 20^\circ\text{C}$	Weight g/m	$\text{cm}^2/\Omega$ $20^\circ\text{C}$
1,0	1,77	5,62	17,8	10,0x1,0	0,139	71,5	1582
1,1	1,46	6,79	23,6	20,0x1,0	0,0695	143	6042
1,2	1,05	8,09	30,7	10,0x1,2	0,1158	86	1934
1,3	1,047	9,49	39,0	15,0x1,0	0,0927	107	3453
1,4	0,903	11,0	48,7	12,0x1,2	0,0965	103	2735
1,5	0,787	12,6	59,8	15,0x1,2	0,0772	129	4190
1,6	0,691	14,4	72,7	15,0x1,5	0,0618	161	5342
1,7	0,612	16,2	87,1	20,0x1,5	0,0463	215	9281
1,8	0,546	18,2	104	25,0x1,5	0,00371	268	14302
1,9	0,490	20,3	121	15,0x2,0	0,0463	215	7339
2,0	0,442	22,5	142	20,0x2,0	0,0348	286	12664
2,2	0,366	27,2	189	25,0x2,0	0,0278	358	19424
2,5	0,283	35,1	277	30,0x2,0	0,0232	429	27623
2,6	0,262	38,0	312	15,0x2,5	0,0371	268	27623
2,8	0,266	44,0	390	20,0x2,5	0,0278	358	16190
3,0	0,197	50,5	479	25,0x2,5	0,0222	447	24733
3,25	0,168	59,3	609	30,0x2,5	0,0185	536	35071
3,5	0,144	68,8	761	35,0x2,5	0,0159	626	47214
3,75	0,126	79,0	936	40,0x2,5	0,0139	715	61150
4,0	0,111	89,2	1135	20,0x3,0	0,0232	429	19828
4,25	0,0980	101	1363	25,0x3,0	0,0185	536	27331
4,5	0,0874	114	1620	30,0x3,0	0,0154	644	39223
4,75	0,0784	127	1903				
5,0	0,0708	140	2221				
5,5	0,0585	170	2949				
6,0	0,0492	202	3822				
6,5	0,0419	237	4869				
7,0	0,0361	275	6089				
7,35	0,0328	303	7048				
7,5	0,0315	316	7489				
8,0	0,0277	359	9089				
8,25	0,0260	382	9968				
10,0	0,0177	562	17751				

# Welding of KANTHAL material

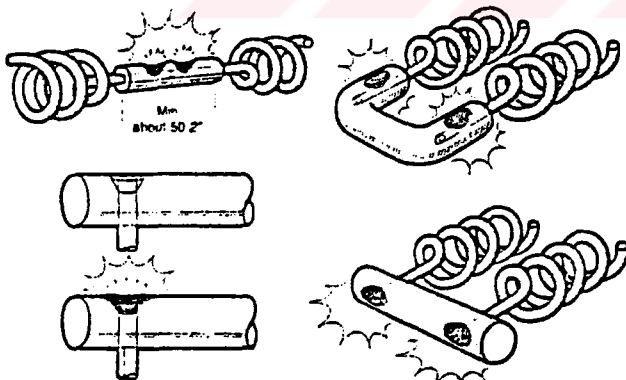
### Welding Methods

<p><b>TIG</b></p> <p><b>(Carbon-arc)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recommended standard procedure</li> <li>• Normally no filler is needed (if necessary - use same material as the element, KANTHAL or NIKROTHAL, 2-3 mm 0.08-0.1)</li> <li>• Use only when TIG is not available</li> <li>• The electrode, 4 mm 0.16, should be connected to the negative pole of the DC-welding set</li> <li>• The current should be kept as high as possible to reduce welding time</li> </ul>
<p><b>NOTE</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Never use flux-coated electrodes!</li> </ul>

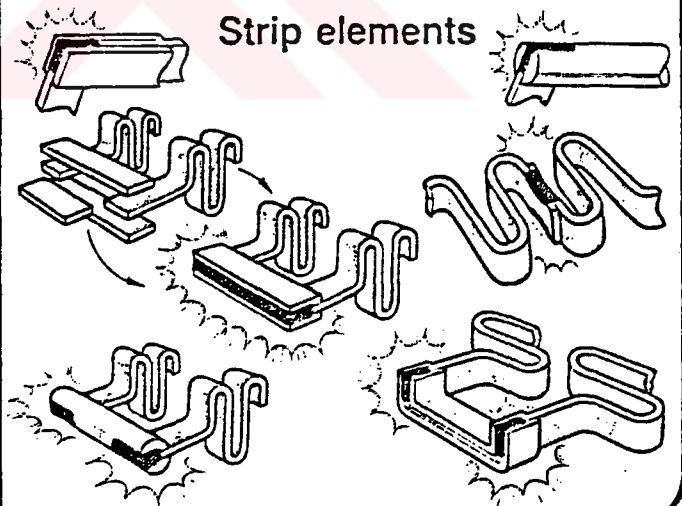
## Welding of Terminals and Element Components



### Wire elements

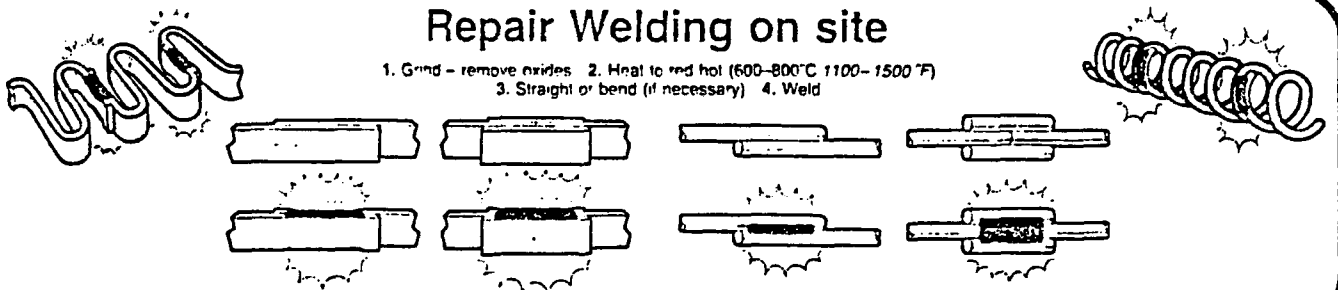


### Strip elements



## Repair Welding on site

1. Grind - remove oxides    2. Heat to red hot (600-800°C 1100-1500 °F)  
 3. Straight or bend (if necessary)    4. Weld



**KANTHAL**

Bn 502 S-734 27 Hälstahammar, Sweden  
Tel +46-220 210 00 Fax +46-220 169 82

# INSTALLATION INSTRUCTIONS

EK-8

**Installing Prismo RX2 is a simple, effective operation providing you follow a few basic rules.**

## PREPARING THE SITE

Order to get the job done efficiently pay special attention to the site preparations :  
Make sure that all the equipment has been delivered and stored under cover  
at the job site.

Check suitable power supplies for site lighting and welding the stud.

Adjust the scaffolding to the right height.

Check that you have all the equipment listed below.

## NECESSARY EQUIPMENT

### Marking-out

String or tape measure.

Plumb line.

Geographic chalk or felt-tip pen.

### Welding

Automatic stud gun with 8 mm Ø chuck,

Manual welding set, for stick welding.

### Assembly

Hand saw or cutter for trimming the Prismo rails if necessary.

Hand saw or large-bladed knife for cutting strips of blanket.

### Tightening the retaining nut

25 mm diameter extended socket spanner,

Mounted on crank with extension or at the end of a T piece for manual tightening,

or an electric or pneumatic screwdriver extension.

Galvanised sheets, supplied on request by KERLANE, used to install the compressed  
panels.

### Finishing

Hand float used for tamping-back.

Painting device for any coating operation required.

## TING

### **Surface finish**

Check the surface finish of the casing plates.  
Grind, sand down and degrease if necessary.

### **Marking out the studs positions**

Using the chalk line, mark-out the casing for the stud positions in accordance with the assembly or stud layout drawing.

### **Welding the mountings**

- The 8 diameter studs made from 24-4 steel are supplied by KERLANE.  
After automatic or manual welding check that the weld is sound.
- If arc welding is used, ensure the thread is protected.

### **Fitting the Kalfeu back up insulation**

Impale the Kalfeu sheet on the studs, with the aluminium sheet facing inwards.  
Fit the sheets side by side ; fold down the overlapping tab to seal the joints.

### **Starting the lining**

Install the compressed blanket strips for the start of the row.

### **Mounting the Prismo RX2**

- Precompress the Prismo RX2 manually.
- Position the rails of the frame in the eyelets of the last Prismo on the start of the rail.
- Position the clamp on the stud.
- Compress the Prismo in its final position, so that the loop of the rail comes to rest on the stud.
- Screw and fasten down the nut.

### **Finishing the row**

- P.7 a) - Shorten the Prismo RX2 by removing the necessary number of strips.
  - Install the shortened Prismo RX2.
  - Install the compressed strips using the galvanised sheets.
- P.7 b) - Install the Prismo RX1 using the galvanised sheets.
  - Screw and fasten the securing nut.

### **Batten strips**

Install the batten strip between each row of Prismo.

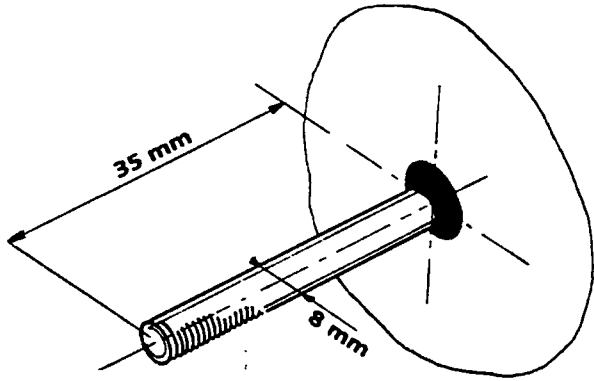
### **Finishing the lining**

- Remove the plastic cover using the bellows provided.
- Tamp the lining slightly.
- Coat if necessary.

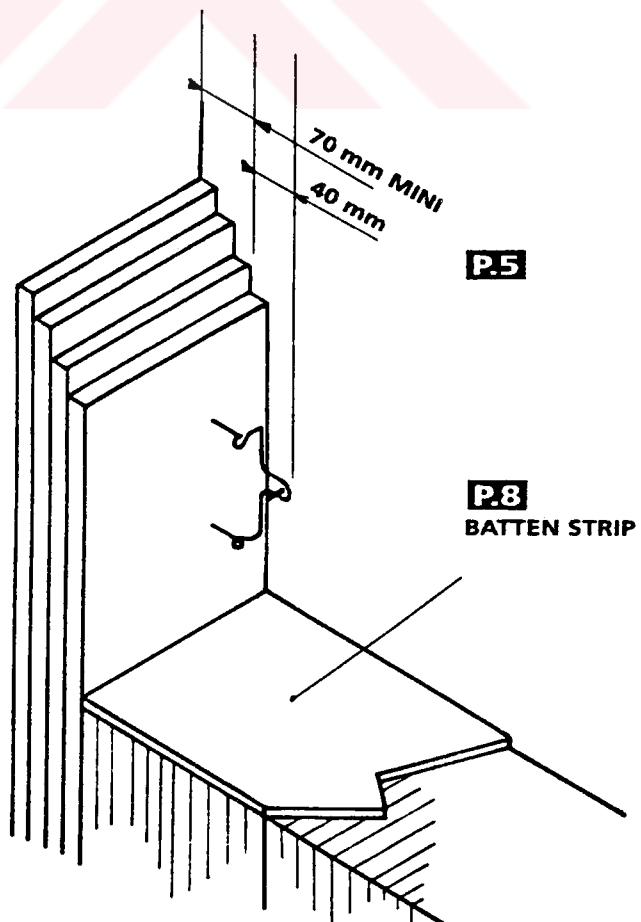
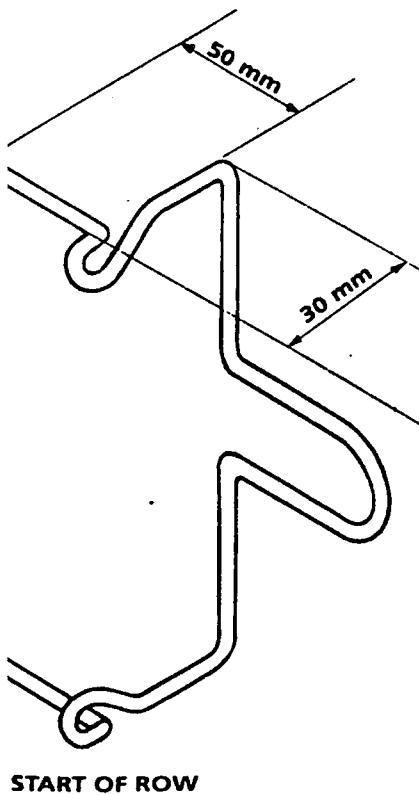
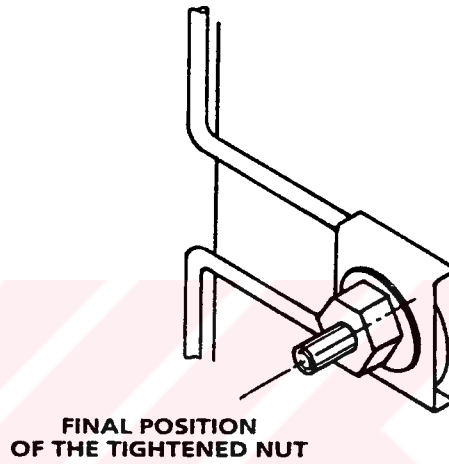
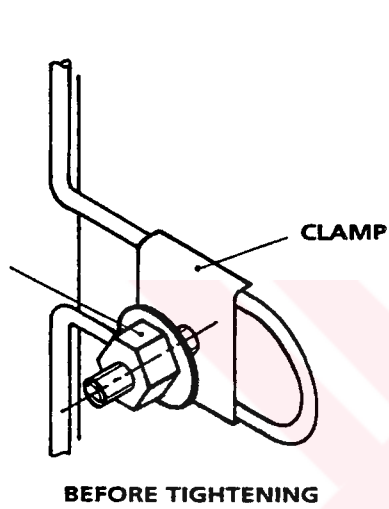
# EK-8.2

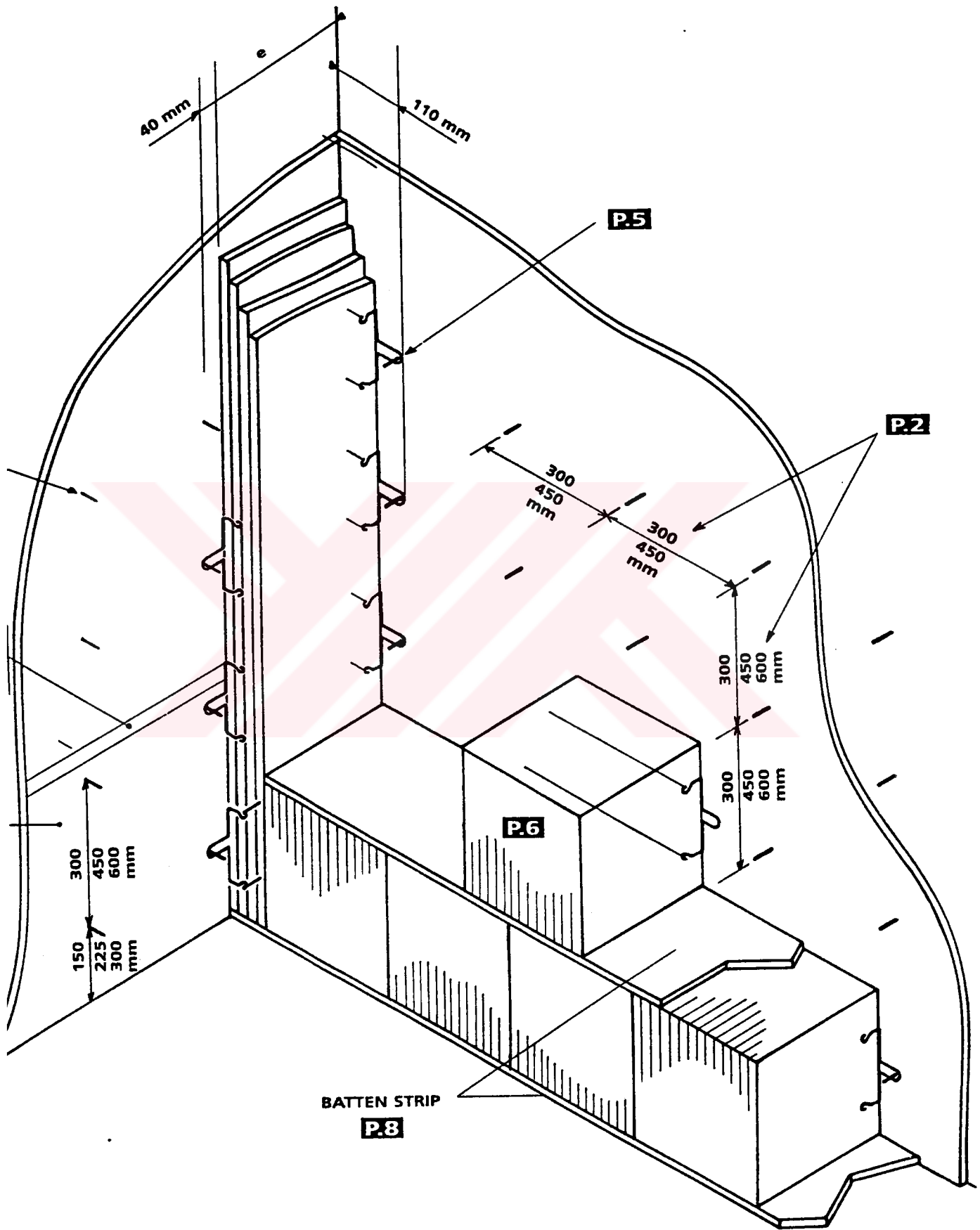
**P.3**

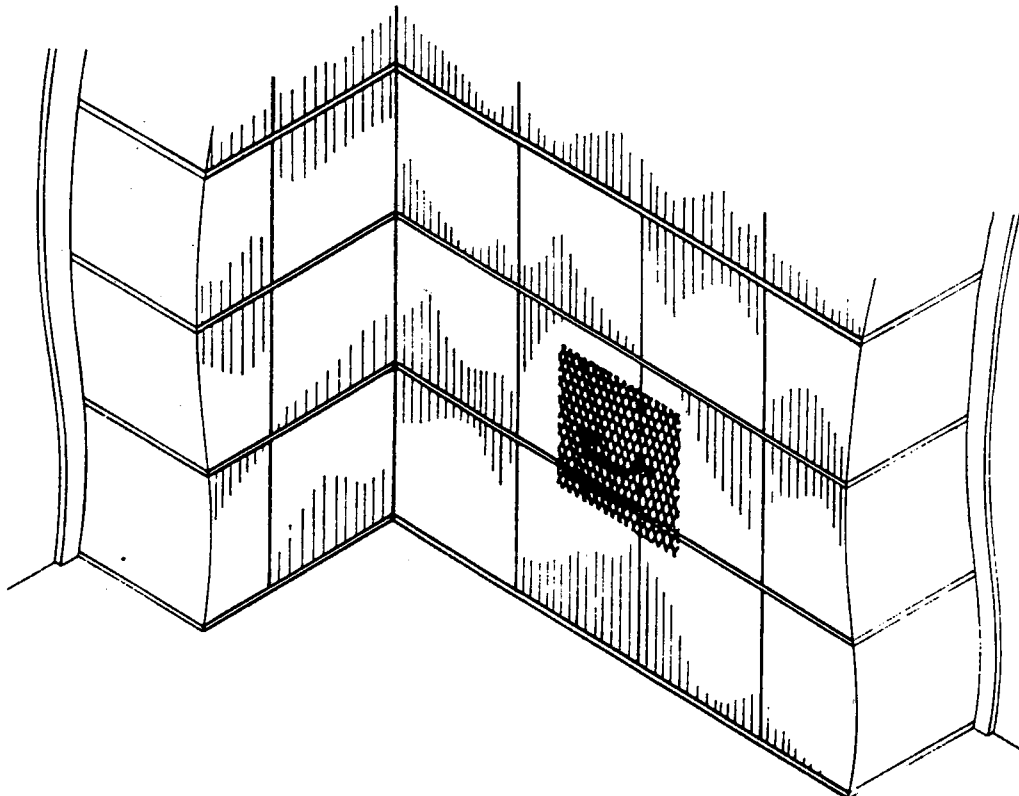
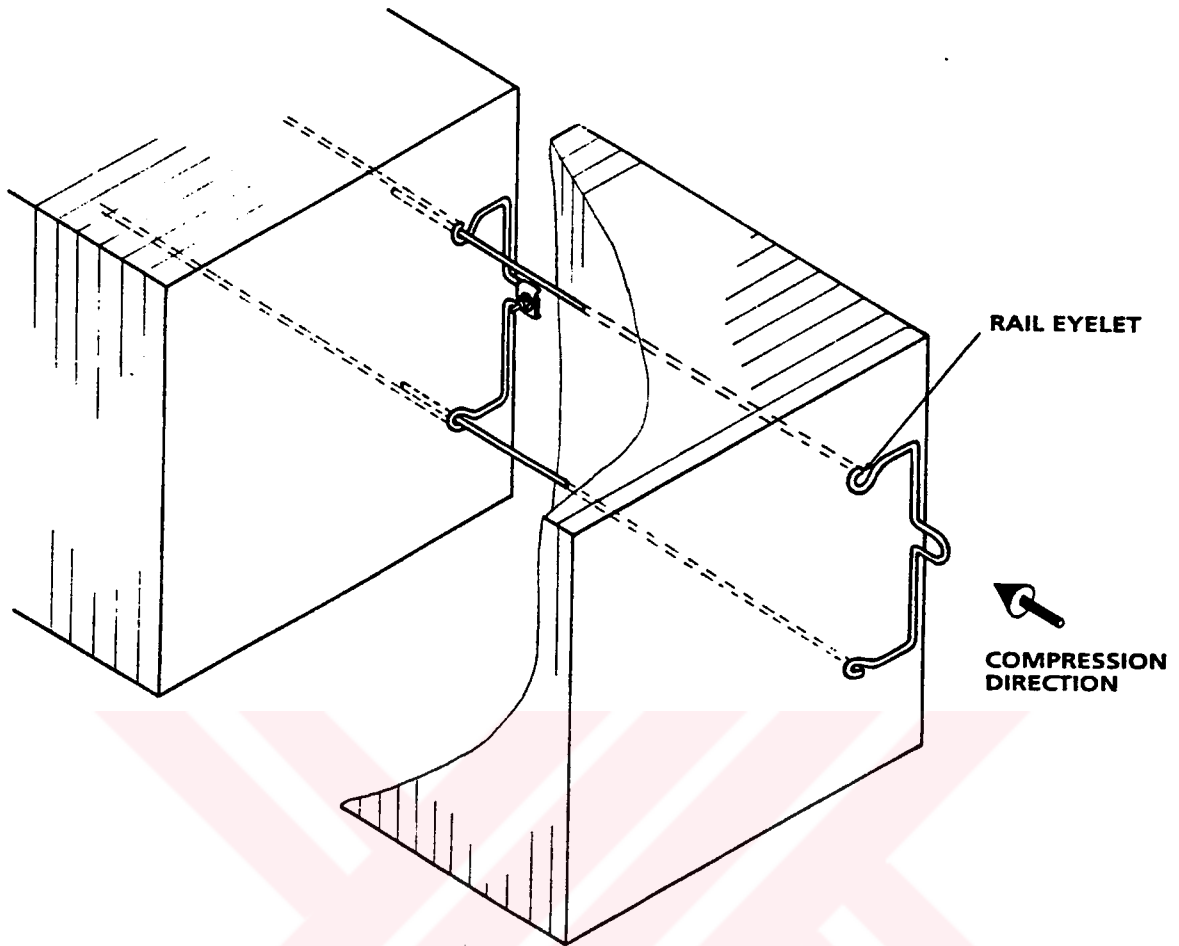
8 mm DIAMETER STUD - LENGTH 35 mm  
TREATED 24-4 STEEL



NER FOR PRISMO RX2 OR STARTING ROWS

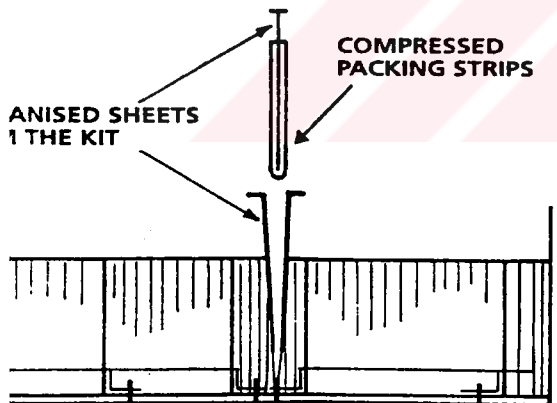
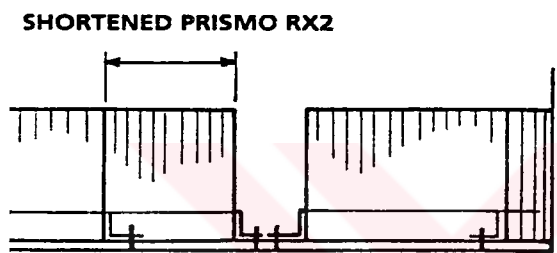
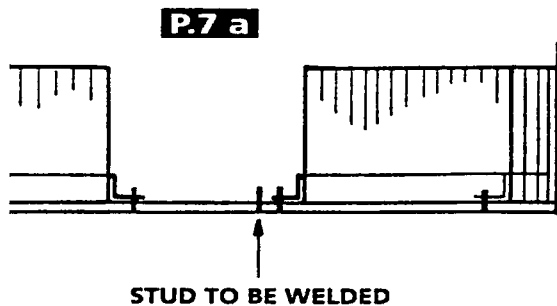




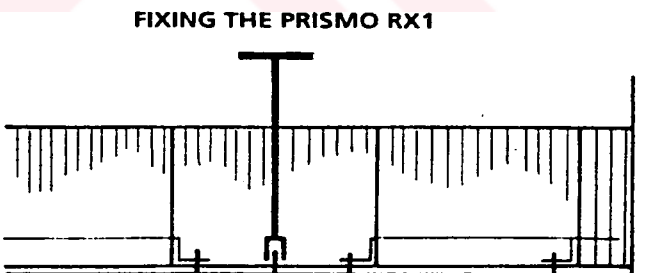
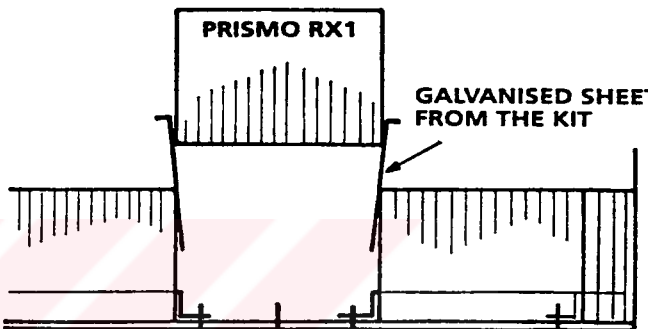
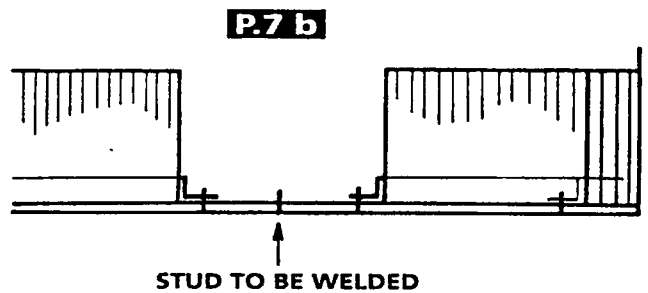


# PRISMO RX2 FINISHING ROWS

## SOLUTION 1

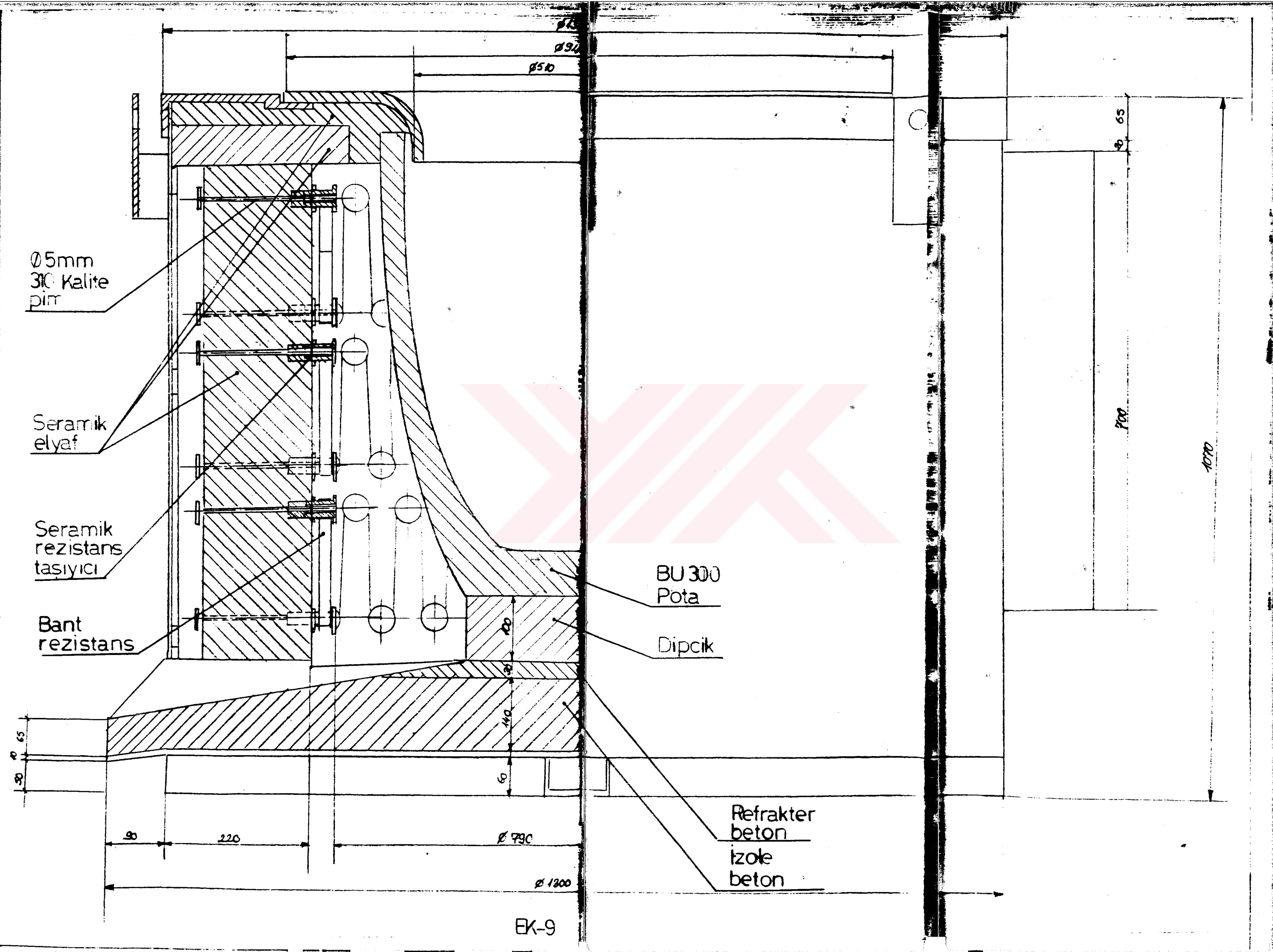


## SOLUTION 2



## PAIRS

to the area to be repaired.  
 Remove any Prismo RX2 rails which cannot be removed with bolt cutters.  
 Check that the studs can be reused, otherwise grind them off and weld new ones in place.  
 Reinstall with Prismo RX2 according to the installation instruction.  
 Finish the row or rows using one of the solutions described above (see paragraph entitled "finishing rows").



Yakıtların duman gazlarının kJ/Nm<sup>3</sup>°C olarak sabit basınçta ortalama özgül ısıları

t°C	Katı yakıt	Akaryakıt	Jeneratör gazı	Kok fırın gazı	Baca gazı
200	1.411	1.407	1.411	1.394	1.432
400	1.453	1.444	1.453	1.428	1.478
600	1.495	1.474	1.495	1.465	1.520
800	1.528	1.516	1.528	1.499	1.561
1000	1.561	1.549	1.561	1.536	1.599
1200	1.595	1.587	1.595	1.566	1.633
1400	1.624	1.616	1.624	1.599	1.662
1600	1.649	1.633	1.649	1.624	1.687
1800	1.679	1.654	1.679	1.641	1.717
2000	1.691	1.675	1.691	1.662	1.725

## ÖZGEÇMİŞ

20.12.1971 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini sırası ile 1977-1981 yılları arasında Ticaret Odası 50.Yıl İlkokulu ve 1981-1987 yılları arasında Yeni Levent Lisesi'nde İstanbul'da tamamladı. 1988 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde yüksek öğrenime başladı. 1992 yılında buradan mezun olarak aynı okulun Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Isı-Proses dalında Yüksek Lisans eğitimi hakkı kazanarak bir yıllık İngilizce hazırlık sınıfından sonra 1993 yılında eğitime başladı. Aynı yıl içinde Teknotherm Ltd.Şti'nde çalışmaya başladı ve halen aynı şirketin bir yan kuruluşunda endüstriyel fırın imalatı konusunda çalışmaktadır.