

T.C.

33536

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FERROKROM CÜRUFLLARININ ÇEŞİTLİ BAĞLAYICI
KOMBİNASYONLARINDA ISI İLETİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

TÜLAY YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

Bu tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
oybirliği/Oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Danışman

Yrd.Doç.Dr. Ayşen HAKSEVER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**FERROKROM CURUFLARININ ÇEŞİTLİ BAĞLAYICI KOMBİNASYONLARINDA ISI
İLETİM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Tülay YILDIZ

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı

1994, Sayfa: 73

Metalurjik katı artıklarından curufların teknolojik kullanımları yıllarca metalurji ve çevre mühendislerini ilgilendiren konuların başında yer almıştır. Curuflar genellikle sanayi tesisleri ile inşaat sektörü tarafından değerlendirilmeye çalışılmaktadır. CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve P_2O_5 içeriklerinin az veya çokluğuna göre curuflar ya çimento klinker katkısı, ya gübre hammaddesi, ya da inşaatlarda harç tuğla katkısı ve yalıtım (stabilize) malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada değişik tane çaplarına sahip ferrokrom curufları ile belirli oranlarda çeşitli tip bağlayıcılar karıştırılarak oluşturulan katı poroz yapı malzemelerinin ısı iletkenlik özellikleri araştırılmış ve yalıtım sıvası olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Deneşlerde kullanılan curuf Elazığ Ferrochrom Tesisleri'nden temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak Portland çimentosu (KPÇ 325), kireç ve kireç+çimento karışımı kullanılmış, bağlayıcının cins ve yüzde oranlarına göre 36 adet değişik numune hazırlanmıştır. Deneş numuneleri hazırlanırken ısı iletkenlik katsayısını ölçen probun ölçüleri esas alınarak 150 mm x 60mm x 20 mm ebatlarında 12 adet dikdörtgen metal kalıp , 71 mmx 71 mmx 71 mm ebatlarında da küp metal kalıplar hazırlanmıştır.

Curuf ve bağlayıcıların tüm karışımlarında, curufun ağırlık yüzde oranı 70,50,30,10 olarak alınmıştır. Karışımlara su katılarak yapılan harçlar, metal kalıplara dökülerek numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin ısı iletkenlik özellikleri araştırılmış ayrıca mukavemet özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmanın giriş bölümünde konu tanıtılmış, ikinci bölümünde ferrochrom üretimi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü ve dördüncü bölümünde curuf bileşimleri ve ferrochrom curufunun özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ise deneşsel çalışmalar incelenmiş ve deneşsel çalışmaların sonuçları altıncı bölümde değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda;

- Numunelerin donmaya karşı dayanımının kontrolü için numunelere su emme deneş uygulandı. Bu deneşler neticesinde su emme oranı, çimento kombinasyonlarında TSE normlarında verilen %30 değerinin altında elde edilmiştir. Buna göre curuf+çimento karışımı ile üretilcek sıva malzemelerinin dış sıvalarda kullanılması uygundur. Diğer kombinasyonlarda ise su emme oranı %30' un üzerinde elde edilmiştir. Bu sebeple bu malzemelerin sıva malzemesinin dış sıvalarda kullanılması iyi sonuç vermez ancak su ile direkt temas olmayan iç sıva, çatı altı

kaplama sıvası veya sandviç duvarlarda ara dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler,

-İç sıvalarda curuf kullanılması halinde normal sıvalara nisbeten, curuf oranı ve bağlayıcı cinsine göre yalıtım özelliği kazandırabilir.

-Puzolon özellikleri nedeniyle curuf menşeli sıvalarda, normal sıcaklıklarda kullanılan curuf ve çimento malzemelerinden tasarruf sağlanabilecektir. Curuf sıvaya yalıtım özeliği kazandıracağından yakıttan tasarruf sağlanarak ülke ekonomisine olumlu katkı sağlanacaktır.

SUMMARY

MSc Thesis

**THE INVESTIGATION OF THE HEAT TRANSFER PROPERTIES OF FERROCHROME
SLUGS IN VARIOUS COMBINATIONS**

Tülay YILDIZ

Firat University

Graduate School Of Natural and

Applied Sciences Department Of Metal Education

1994, Page : 73

It was one of the common subjects to use the slags from metallurgical solid was the materials for the metallurgy and environment engineers . The slag has been trying to utilize in industrial plants and construction . The slag are being currently used as cement klinker additive or raw material for fertilizers, mortar or brick additive and insulation.

In this study, the thermal conductivity of the solid porous building materials which are obtained by mixing the ferrochrom slag and various bindings at specific rates, was investigated and their serviceability as insulation plaster were examined.

The slag used in the experiments is supplied from Elazığ ferrochromes slag plants and separated into the various grain size groups. Portland cement (KPC 325), lime and a mixture of cement and lime are used as binding and 36 specimens are prepared depending on the kind and percentage of cement.

In all slag and binding mixtures, the weight percentages of slag are taken as 70, 50, 30 and 10. The specimens in the form of plate are produced by pouring the mortar into the dies. Then the heat conduction properties and the serviceability as an insulation mortar, of these specimens were investigated.

In the first chapter of this study, the subject was introduced. In the second chapter information about ferrochrome production was given. In the third chapter the properties of the slag were given. In the chapters the experimental study and the results were presented. From the results the following conclusions were obtained;

- Water absorbing test was applied to the specimens in order to determine the freezing resistance. From the test results it was understood that water absorbing rate was under the value of TSI, which is 30 for the cement (combinations) mixtures. Therefore, the slug-cement mixture was seen to be able to be used as external mortar. But for the other mixtures the water absorbing rate was found to be more than 30 percent. Since the mortar to be produced with these mixtures will not give a good result, as external mortar, the insulation material obtained could be used at the places where there is no any direct contact with water as internal mortar under roof covering and filler in the sandwich walls.

- In case slug is used in the internal mortar. The mortar gained insulating character with respect to the kind of the binder.

- It is more economical and money saving to use the mortar with slug because of its pozzolan character. Due to this character the heating expenses will decrease.

VIII

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın yönlendirilmesi ve tamamlanmasında her türlü yardımı esirgemeyen Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Ayşen HAKSEVER'e içtenlikle teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında her türlü yardımda bulunan Fırat Üniversitesi Mak. Müh. Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Yaşar BIÇER, F. Ü. Teknik Eğt. Fak. Metal Eğt. Böl. Başkanı Sayın Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM' a ve Fırat Üniversitesi Mak. Müh. Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Cengiz YILDIZ' a ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca ısı iletkenlik deney sonuçlarını elde etmeme yardımcı olan Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü yöneticilerine, Mekanik ve Mukavemet deneyleri için de Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Başkanlığına ve özgül ısı kapasitesi tayininde yardımlarını esirgemeyen F.Ü. Kim. Müh. Bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. Dursun Pehlivan' a ve Arş. Gör. Melek Gürkahraman' a ve tüm deneysel çalışmalarda emeği geçen laboratuvar teknisyenlerine teşekkürlerimi sunarım.

Tülay YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	111
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	IX
TABLolar	XI
ŞEKİLLER	XII
SEMBOLLER	XIV
BÖLÜM : 1	
GİRİŞ	1
BÖLÜM : 2	
FERROKROM VE ÜRETİMİ	3
2.1. Giriş	3
2.2. Ferrokrom Üretimi	3
2.3. Ferrokrom Üretiminin Hammaddeleri	6
2.4. Hammadde Hazırlama Ve Üretime Geçiş	10
BÖLÜM : 3	
CURUF BİLEŞİMLERİ	13
3.1. Yüksek Fırın Curufu Ve Bileşimi.....	19
3.2. Granüle curuf	23
3.3. Curufların Portland Çimentosu Klinkeri Üretiminde Hammadde Olarak Kullanımı	26
BÖLÜM : 4	
FERROKROM CURUFUNUN GENEL ÖZELLİKLERİ	28

BÖLÜM : 5

DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER	33
5.1. Giriş	33
5.2. Deneylerde Kullanılan Materyal Ve Hazırlanması.....	33
5.3. Isı İletim Katsayısı Ölçümünde Kullanılan Ölçme Aleti Ve Çalışma Yöntemi (Hot-Wire Yöntemi)	36
5.3.1. Hot-Wire Yöntemi	38
5.3.2. Hot -Wire Yönteminde Isı İletim Katsayısı Hesabı	41
5.4. Özgül Isı	45
5.5. Gözeneklilik Oranın Hesaplanması.....	48
5.5.1. Gözeneklilik oranını veren denklem parametrelerinin tayini....	50
5.5.2. Örnek bir numunenin gözeneklilik oranı hesabı.....	51
5.6. Su -Emme Ve Kuruma Deneyleri	53
5.6.1. Su emme deneyi	53
5.6.2. Deneyiın Yapılışı.....	53
5.6.3. Kuruma Hızı Deneyi	57
5.7. Mekanik Dayanım	61
BÖLÜM : 6	66
SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	70

TABLolar

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Bazı Metalurjik Üretim Yöntemleri Artığı Curufların Yaklaşık Olarak Elde Edilen Bileşimleri.....	14
Tablo 3.2. Curufların Akışkanlığının Bazı Akışkanlarla Karşılaştırılması.....	17
Tablo 3.3. Çimento Bileşimleri	19
Tablo 3.4. Çeşitli Ülkelerin Yüksek Fırın Curuf Üretimleri.....	20
Tablo 3.5. Yüksek Fırın Curufunun Bileşimi.....	23
Tablo 5.1. Değişik Maddeler İçin Isı İletim Katsayıları.....	36
Tablo 5.2. Isı İletim Katsayısı Deney Sonuçları	44
Tablo 5.3. Numunelerin Özgül Isı Değerleri.....	47
Tablo 5.4. Curuf Matrisi Yoğunluk Tayin Tablosu.....	50
Tablo 5.5. Numunelerin Gözeneklilik Oranı Değerleri.....	52
Tablo 5.6. Su Emme Deney Tartı Sonuçları	55
Tablo 5.7. Kuruma Hızı Deney Sonuçları	59
Tablo 5.8. Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Aşınma Kaybı Deney Sonuçları	53
Tablo 5.9. Kireç + Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Aşınma Kaybı Deney Sonuçları.....	64
Tablo 5.10. Basma Mukavemeti Deney Sonuçları	65

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Metal Oksitlerin Aktif Karbonla Redüklenme Sıcaklıkları Ve Gerekli Redüksiyon Isıları.....	6
Şekil 3.1. Portland Çimentosu Klinkeri İle Aktivite Edilmiş Camısı Maddelerin CaO - Al ₂ O ₃ - SiO ₂ Sistemindeki 28 Günüük Basınç Dayanımları	26
Şekil 4.1. MgO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ Üçlü Denge Diyagramı.....	32
Şekil 5.1. Diktörtgen Ebatlarında Hazırlanan Deney Numuneleri.....	35
Şekil 5.2. Küp Ebatlarında Hazırlanan Deney Numuneleri.....	35
Şekil 5.3. Isı İletim Katsayısı Ölçme Aleti	38
Şekil 5.4. Basitleştirilmiş Hot-Wire Yöntemi	39
Şekil 5.5. Isı İletim Katsayısı Ölçme Cihazı Devre Şeması.....	40
Şekil 5.6 Numunelerin Curuf Oranı.Isı İletim Katsayısı İlişkisi.....	45
Şekil 5.7. Numunelerin Özgül Isılarının Curuf Yüzdesine Göre Değişimi	46
Şekil 5.8. Çimento Bağlayıcı Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri	56
Şekil 5.9. Kireç Bağlayıcı Numunelerinin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri	56

Şekil 5.10. Kireç +Çimento Bağlayıcı Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri.....	57
Şekil 5.11. Çimento Bağlayıcı Numunelerin Kurma Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri.....	57
Şekil 5.12. Kireç +Çimento Bağlayıcı Numuneleri Kurma Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri	60
Şekil 5.13. Kireç Bağlayıcı Numunelerin Kurma Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri	60
Şekil 5.14. Basma Deneyi Cihazı	62
Şekil 5.15. Aşınma Deneyi Cihazı	62

XIV

SEMBOLLER

ρ : Baziklik derecesi

μ : Dinamik vizkosite

V : Hız (m/sn)

A : Alan (m^2)

I : Isıtıcı telden geçen akım şiddeti (A)

k : Isı iletim katsayısı (W/mK)

L : Uzunluk (m)

T : Sıcaklık (K)

ΔT : Sıcaklık Farkı ($^{\circ}C$)

Q : Isı transferi (W)

q : Sıcak telin ısı akışı (W/m)

R : Elektriksel Direnç (m^2K/W)

t : Zaman (sn)

V : Termoelemanın gerilimi (mV)

K, H : Ölçme cihazına ait sabitler

a : Isı yayınma katsayısı (m^2/sn)

$S.E$: Su emme oranı (%)

ρ : Yoğunluk (g / cm^3)

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ :

Kalkınmış ülkeler, doğal kaynaklarını en iyi şekilde değerlendiren toplumlardır. Kalkınma çabası içinde olan ülkemizin, dünya ülkeleri tarafından süratli bir şekilde sürdürülmekte olan teknoloji ve endüstrileşme yarışına katılamadığı sürece ekonomik ve sosyal bunalımdan kurtulmasını beklemek gerçek dışı olacaktır. Bunun için bütün doğal kaynaklarımızı akılcı olarak ulusal ekonomimizin hizmetine sunup kalkınmış ülkelere daha süratli bir şekilde bu yarışa katılmamız gerekmektedir.

Ülkemizde çeşitli sektörlerin üretim artışı olan bazı maddeler atık durumdadır. Atık maddelerin çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi sonucunda, gerek doğal kaynaklarımız ve gerekse ulusal ekonomimiz olumlu yönde etkilenecektir.

Ferrokrom fabrikalarında üretim yapılırken atık madde olarak elde edilen ferrokrom curufu üretim esnasında cevher içerisinde bulunan ve üretimleri arzulanmayan maddeleri ihtiva etmektedir. Maden ocaklarından gelen ferrokrom cevheri ile katkı maddeleri olan kok, boksit ve kuvarsit ; kırma eleme işlemlerinden geçirildikten sonra ark (direnc) fırınlarına gönderilerek 2000 °C dolaylarında ısıtılır ve bu fırınlarda ergitilir. Elde edilen bu ergiyik içerisinde ferrokrom metali ve curuf karışık halde bulunur. Fırın gücü belli bir değere eriştikten sonra fırın açılarak curuf+metal karışımı olan bu ergiyik potalara alınır. Yoğunluk farkından dolayı ilk potada metal ayrıldıktan sonra bu potanın yüzeyinde biriken curuf ile diğer potalardaki curuflar belli işlemlerden geçirildikten sonra curuf sahasına nakledilerek depolanır.

Curuf miktarı ; kullanılan cevherin tenörüne göre değişmektedir. Üretim esnasında 1 ton ferrokrom elde edilirken 1,6 ton curuf meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu atık miktarı yılda yüzbinlerce tona ulaşmaktadır. Yüksek tenörlü (%40-46 Cr₂O₃ içeren kromit) cevherde curuf miktarı daha az, düşük tenörlü (%33-35 Cr₂O₃ içeren kromit) cevherde ise curuf miktarı daha fazladır.

Elde edilen curuf, yapı malzemesi olarak kullanılan kum-çakıl malzemelerine oranla oldukça hafif ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle ferrokrom curufunun yeni bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmeye alınmasının yararlı olacağına şüphe yoktur. Depolanma ve çevre kirliliği açısından problemlere neden olan atıl durumdaki bu malzemenin bilinçli olarak ekonomiye kazandırılmasında yarar vardır.

Bu çalışmada belli özelliklere sahip Elazığ Ferrokrom Tesislerinde ferrokrom üretimi yapılırken atık madde olarak elde edilen curufa belli oranlarda çeşitli tip bağlayıcılar karıştırılarak elde edilen yeni yapı malzemelerinin ısı iletkenliği incelenmiştir. Curufa belirli oranlarda çimento (KPÇ 325), kireç ve kireç+çimento(KPÇ 325) katılarak oluşturulan numunelerin ısı iletkenlik katsayıları ölçülmüş ve su emme, kuruma testlerinden geçirilmiştir. Ayrıca mekanik deneyler yapılmış ve özgül ısı değerleri tayin edilmiştir. Bu malzemenin düşük yoğunlukta yeni bir yapı elamanı üretimi için agrega olarak kullanılması halinde, fabrikanın depolanma ve çevresini koruma sorunları da çözülebilecek ve ülke ekonomisine bu açıdan da yarar sağlanacaktır.

BÖLÜM 2

FERROKROM VE ÜRETİMİ

2.1. GİRİŞ

Teknikte başlıca üç tip ferrokrom bilinmektedir. Bunlardan %0,02-0,5 C'lu olanına sürafine (düşük karbonlu ferrokrom) , %0,5-4 C'lu olanına rafine (orta karbonlu ferrokrom) ve %4-6 C'lu ya da daha yüksek karbonlu olanına karbüre (yüksek karbonlu ferrokrom) adları verilmektedir. Her üç alaşım türünün de üretimlerindeki temel amaç, paslanmaz ve kaliteli çelik üretimi için gerekli bir ön demir-krom alaşımı elde etmektir. Ancak kromun kolaylıkla karbonla birleşebilen, yani kolay karbür oluşturan, metal oluşu ve bunun yanında redüksiyon ortamının ve redüksiyon sıcaklıklarının da karbonla birleşmeyi kolaylaştırıcı etkileri nedeni ile üretilen ferrokrom bünyesine %10'a kadar varan oranlarda karbon kabul eder ki, bu değer normal dökme demirin karbon oranından yaklaşık iki kat daha fazladır.

Ferrokrom, paslanmaz çelik üretim sanayi kolunun temel hammaddesi olup, içerdiği karbon ve silisyum miktarlarına göre kalite çeliklerine katılmadan önce bir termik ön rafinasyondan geçirilir ve bu elementlerin alaşımın gerektiğinden fazla oranda üretilen çeliğin yapısına geçmemesi sağlanır (Yıldırım , 1984).

2.2. FERROKROM ÜRETİMİ:

Yurdumuzun kromit filizi açısından zengin yataklara sahip olduğu çok eskiden beri bilinen bir gerçektir. Buna rağmen bu yataklardan üretilen filizlerden ferrokrom üretimine geçiş ancak son 20 yıl içerisinde

gerçekleştirilebilmiştir. Halen yurdumuzda Antalya ili civarında sürafine, Elazığ ili civarında da karbüre ferrokrom üreten iki ayrı ferrokrom üretim tesisi bulunmaktadır.

Ferrokrom üretiminin ilk bakışta elektrometalurjik bir yöntemle gerçekleştirildiği sanılabilir. Aslında bu kanı tamamen yanlıştır. Ferrokrom üretiminde redüksiyonda kullanılan elektrik enerjisinin görevi doğrudan redüksiyona katılmak değil, kok kömürü ile yapılacak direkt redüksiyon işlemi için gerekli yüksek ısı gereksinimini karşılamak ve redüksiyon bölgesinde 1600 °C' in üzerindeki sıcaklıklara çıkmayı sağlamaktır. Yani ferrokrom üretimi pirometalurjik-elektrotermik bir üretim yöntemi ile gerçekleştirilmektedir.

Ergime sıcaklıkları 1200 °C dolaylarında bulunan veya ergime sıcaklıkları bu sıcaklığın altında kalan külçe (ham) metal ve alaşımların teknolojik üretimlerinde, karbonmonoksit (CO) gazı ile yapılan endirekt redüksiyon büyük önem taşımaktadır. Fakat redüksiyon ürünlerinin daha yüksek bir ergime sıcaklığı göstermeleri ve redüksiyon sonucu oluşan curuflarının da daha yüksek bir ergime sıcaklığına sahip olmaları halinde, endirekt redüksiyondan iyi sonuç alınmaz. Bu nedenle de direkt redüksiyona, yani karbon elementinin doğrudan doğruya kendisi ile yapılacak redüksiyona geçilir. Endirekt redüksiyonun aksine direkt redüksiyon işlemlerinde yeterli redüksiyon hızına ancak 1000 °C' in üzerinde ulaşabilmektedir. Çünkü burada söz konusu olan iki katı faz arasında vukubulacak reaksiyonun hızı düşük sıcaklıklarda tatminkar olmamaktadır. Bir yandan da yüksek sıcaklıklarda aktifliği artan karbon elementi, redüksiyon sonucu oluşan metal ve alaşım elamanları ile karbür oluşturma eğilimi göstermektedir (Yıldırım , 1984).

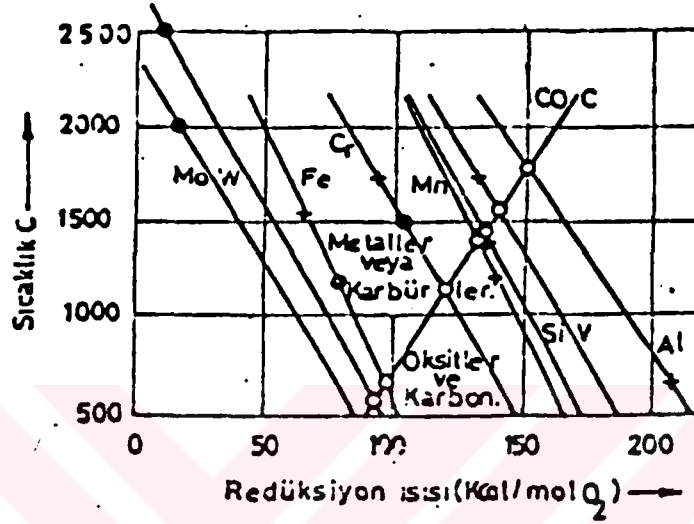
Karbür oluşumuna yatkınlık metalden metale farklıdır. Ancak karbür

oluşumuna daha yatkın metaller arasında krom metali ayrı bir yere sahiptir. Çünkü krom düşük oranlarda sementit içerisinde erirken, yüksek oranlarda da $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_2 gibi formüllerle ifade edilebilen özel karbür bileşiklerini oluşturmaktadır. Bu karbürler bünyelerine %30' a kadar varan oranlarda demir kabul edebilmektedirler.

Kromit filizi, mineralojik olarak spinel karakterli çift oksitten oluşan bir filizdir. Filizin formülü diğer yantaşları göz önünde tutulmazsa kısaca $Cr_2O_3.FeO$ olarak verilebilir. Bu filizlerden ferrokrom üretimi açık ve kapalı tip elektrik ark fırınlarında yapılmaktadır. Fırının elektrodları genellikle fırın şarjı ile temas halinde ve onun içine dalmış halde bulunurlar. Fırın içi elektrik iletkenliği görevini de yine redüksiyonu sağlayan kok kömürü üstlenir. Elektrodlar arası yüksek amperajlı alternatif elektrik akımı redüksiyon için gerekli 1700-1800 °C sıcaklıklara çıkmayı sağlar. Bu sıcaklıklarda aktifliği artan karbon, kromoksit ve demiroksiti redükleyerek bir demir-krom alaşımına ve yantaşları (gangları) da curufa dönüştürür.

Yaklaşık 1700 °C da ergiyen curuf ile 1550 °C' da ergiyen ferrokrom alaşımının işlem sırasında katılaşmaması da yine elektrik enerjisi ile sağlanan ısı sayesinde gerçekleşir. Redüksiyon sonucu oluşacak karbonmonoksit gazı ya açık tip fırınlarda olduğu gibi yanarak yok olur ya da kapalı tip fırınlarda olduğu gibi enerji üretiminde kullanılır (Yıldırım, 1984).

Şekil 2.1 de Metal oksitlerin karbonla redüklenme sıcaklıkları ve redüksiyon ısıları verilmektedir.



Şekil 2.1. Metal oksitlerin aktif karbonla redüklenme sıcaklıkları ve gerekli redüksiyon ısıları.

- + Metallerin saf iken ergime sıcaklığı
- o Oksitlerin en düşük redüksiyon sıcaklıkları
- Ferro alaşımının yaklaşık ergime sıcaklığı

2.3. FERROKROM ÜRETİMİNİN HAMMADDELERİ

Ferrokrom üretiminde hammadde olarak parça(roş) kromit, jig kromit, konsantre kromit, metalurjik kok, kuvarsit, boksit, söderberg hamuru ve elektrik enerjisinden yararlanılmaktadır. Bunlardan parça, jig ve konsantre kromit ferrokromun oluşumunda ve ürünün bileşiminde, metalurjik kok

direkt redüksiyonda ve şarjın iletkenliğinde, kuvarsit ve boksit isteğe uygun curuf oluşumunda, södeberg hamuru akımın banyoya iletiminde ve elektrik enerjisi de redüksiyon ve redüklenen ürünün sıvı halde kalabilmesi için gerekli yüksek ısının sağlanmasında rol oynarlar (Yıldırım , 1984). Dolayısı ile her hammaddenin metalurjik işlemden üstlendiği görev diğerinden farklıdır.

Hammaddelerde şüphesiz iyi bir metalurjik üretim için bazı fiziksel ve kimyasal özellikler aranır. Aranan bu özellikler metalurjik işlemin ekonomikliğı ve kolay kontrol edilebilirliğı açısından son derece önemlidir. Bu özellikler şunlardır :

Parça kromit yada jig kromit 20-100 mm irilikte olmalı ve peletlenmelidir. Bunlardaki krom içeriğinin; demir içeriğinin üç katından daha büyük veya üç katına eşit olması, magnezyum oksit içeriğinin mümkün olduğu kadar az olması, alüminyum oksit ve silisyum dioksit oranlarının curuf oluşumu için fazla katkı gerektirmeyecek düzeyde bulunması istenir. Bileşiminde Cr_2O_3 oranının %48 dolaylarında bulunması da ayrıca üretilecek ferrokromun kalitesi açısından önemlidir.

Elazığ ili sınırları içerisinde kalan Alacakaya yöresinden çıkarılan parça kromitten alınan bir numunenin yapılan kimyasal analizinde aşağıdaki bileşim değerleri bulunmuştur :

% 9,16 SiO_2 , % 14,28 Al_2O_3 , % 17,07 MgO , % 13,69 FeO , ve % 44,63

Cr_2O_3

Bu analiz değerlerinin söz konusu parça kromitte Ferrokrom üretimi için gerekli tüm koşulları eksiksiz olarak sağlayabildiğı söylenemese de, MgO içeriğı dışındaki tüm diğer değerler tolerans sınırları içinde kalmaktadır.

Teknolojik olarak, konsantre kromitler ; üretim esnasında yantaşlarla fakirleşmiş kromit filizlerinin ve filiz artıklarının öğütülüp manyetik ayırıcılardan geçirilerek veya hareketli tablolarda yıkanarak zenginleştirilmesi suretiyle üretilmektedir. Konsantre kromitin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin parça kromit özelliklerine yaklaşabilmesi için kromit filizindeki krom oranının en az 2,8 dolaylarında bulunması, tane iriliğinin yetersiz olması halinde de peletlenmesi gerekir. Konsantre kromitler hiç başka işlem görmeden de fırınlara şarj edilebilirler. Ancak böyle durumda toz kayıpları ve toz oluşumu artar.

Alacakaya Sori yöresinde üretilen konsantre kromitten alınan bir numuneden aşağıdaki analiz değerleri elde edilmiştir :

‡46,48 Cr₂O₃ , ‡ 12,86 FeO , ‡18,27 MgO , ‡ 14,20 Al₂O₃ , ‡ 7,04 SiO₂ , ‡ 1,14 CaO.

Verilen bu örnekte istenen kimyasal özelliklere büyük oranda yaklaşıldığı görülmektedir. Curuf yapıcı olarak şarj karışımına katılan kuvarsitin silisyum dioksit içeriğinin ‡ 90'ı aşması, işlemi etkileyebilecek zararlı bileşiklerin fırına girmemesi açısından önem taşır. Kuvarsitin parça iriliğinin de parça kromitteki gibi oluşmasında redüksiyon ve curuf oluşumunun sağlıklı işlemesi açısından yarar vardır.

Hammaddelerde silisyum dioksit ve magnezyum oksitinin fazla ve alüminyum oksitinin az olarak bulunduğu hallerde, curuf yapıcı olarak fırın şarj karışımına boksit minerali de katılır. Yine boksitin parça iriliğinin de, parça kromite verilen sınırlar içerisinde bulunması, alüminyum içeriğinin ‡55'in üzerinde ve demir oksit içeriğinin de mümkün olduğu kadar az oranda olması istenir. Örneğin ferrokrom tesislerinde kullanılarak değerlendirme alanı bulmuş olan milas boksitinde ‡57.5 Al₂O₃, ‡3 SiO₂ ve

%23.5 Fe_2O_3 bulunmaktadır. Söz konusu boksitin üretim amacı ile kullanılmasında uygun parça iriliğine karşın aşırı demir oksit içerdiği dikkat çekmektedir.

Redüksiyon ve fırın içi iletkenliğinin sağlanmasında büyük değer taşıyan metalurjik koktan istenen özellikler; parça iriliği dışında, yüksek fırın koku ile aynıdır. Parça iriliğinin 25-50 mm arasında olması istenirken, kokun az kül bırakması, kükürdün az olması, az uçucu madde içermesi, güç tutuşması, mukavemetinin yüksek olması, gözenekli yapı göstermesi, sabit karbon içeriğinin %85' in üzerinde olması istenen diğer önemli özellikler arasında yer alır (Yıldırım , 1984) .

Elektrod maddesi olarak kullanılan söderberg hamuru; antrasit, kömür tozu, zift, katran gibi ürünlerin belli oranlarda karıştırılması ve daha sonra hamur halinde yoğurulması suretiyle üretilmektedir. Söderberg hamurunun 700-800 °C sıcaklıklarda uçucu maddelerini yitirerek ısı iletkenliğinin artması ve bu iletkenliğin metallerinkine yaklaşması bu maddeden istenen en önemli özelliktir. Ayrıca söderberg hamurunun kok kömüründe olduğu gibi az kül bırakması ve sabit karbon içeriğinin % 80 'in üzerinde bulunması büyük değer taşır. Redüksiyon ısısına çıkmak, ulaşılan ısı düzeyini ve yüksek sıcaklığı korumak, fırından alınan ürünler(ferrokrom, curuf ve bacagazı), kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyondan kaybolan fırın ısısını fırına yeniden vermek, redüksiyon ürünlerinin üretim esnasında katılaşmasını önlemek görevleri elektrik arkı sayesinde sağlanan ısı ile olmaktadır. 1 ton ferrokrom üretimi için fırının büyüklüğüne ve ısı izolasyon derecesine bağlı olarak açık tip elektrik ark fırınlarında 3,5 - 5 MWh, kapalı tip elektrik ark fırınlarında da 2,5-4 MWh elektrik enerjisi gerekmektedir (Yıldırım , 1984) .

2.4. HAMMADDE HAZIRLAMA VE ÜRETİME GEÇİŞ

Ferrokrom üretiminde hammadde hazırlama genellikle kırma, eleme, karıştırma gibi mekanik işlemlerle ve gerektiğinde peletleme gibi metalurjik işlemlerden oluşur.

Hammadde hazırlanmasında önemli husus; hammaddelerin homojen bir karışım oluşturmaları ile karışıma girecek hammaddelerin hassas tartılmasıdır. Bu iki koşulun aynı anda sağlandığı durumlarda fırın rejimi normal seyretmekte, aksi halde fırın rejiminde önemli dengesizliklerle karşılaşmaktadır. Rejim bozukluklarına örnek olarak fırının zor açılması, curuf bileşiminin ve buna bağlı olarak curuf ergime sıcaklığının değişmesi, fırın içi redüksiyonun güçleşmesi, ferrokromun bünyesine daha çok silisyum geçişi, kok sarfiyatının artışı, fırın enerji iletiminin denetiminin güçleşmesi verilebilir.

Ferrokrom üretiminde termik redüksiyon, krom oksit ve demir oksitin redüksiyonundan ibaret kalmaz, aynı zamanda fırına yapılan kuvarsit şarjı nedeniyle silisyum dioksit de kısmen redüklenerek sıvı ferrokromun bünyesine geçer.

Fırın içinde cereyan eden endotermik reaksiyonlara ait denklemler gerçekte daha karmaşık olmakla beraber, büyük ölçüde aşağıdaki denklemlerle verilen stokiyometriye uyarlar.





Krom oksitin direkt redüksiyonu için 1250 °C' in üzerine, demir oksitin redüksiyonu için 700 °C' in üzerine , silisyum dioksitin redüksiyonu için de 1450 °C' in üzerine çıkarak yüksek sıcaklıklarda çalışmak gereği vardır. Düşük sıcaklıklarda ilk iki reaksiyondan özellikle birincisi yavaş seyrederken, aşırı yüksek sıcaklıklarda çalışılması halinde de son reaksiyon uyarınca üretilen ferrokromun bünyesine fazla silisyum geçeceğinden olumsuz sonuçlar doğar (Yıldırım , 1984).

Redüksiyon yolu ile elde edilen krom-demir alaşımı, bu iki metalin de karbür oluşumuna yatkınlığı nedeniyle böyle kalmaz ve bünyesine çalışılan sıcaklığa ve uygulanan yöntemle göre değişen oranlarda karbon alır ve karbüre ferrokroma dönüşür. Ferrokromun bünyesinde bunlardan başka hammaddelerden gelen fosfor ile kok kömüründen gelen kükürt de belirli oranlarda geçer.

Sonuç olarak, yüksek karbonlu ferrokromun metalurjik işlemlerden sonraki bileşimi; çalışılan ısı düzeyi, hammaddenin kimyasal bileşimi, curufun kimyasal bileşimi, ergime sıcaklığı, akışkanlığı ve hammaddenin saflık derecelerine göre belirlenir.

Ferrokromun üretildiği elektrik ark (direnç) fırınları bazik karakterli tuğlalarla kaplanırlar. Üretilen curuf ve karışımının fırından alınma işlemi fırın türüne ve rejimine bağlı olarak her iki veya dört saatte bir yapılır. Reaksiyon sonucu oluşan ferrokrom miktarını, üretim esnasında kullanılan fırın enrejisinden hareket ederek, yaklaşık bir değerle hesap etmek önceden mümkündür (Ytong , 1985).

Özgöl ağırlığı 7,1 ton/ m³ olan ferrokrom parlak gri renktedir. İçerisindeki silisyum oranı ile kırılgenlığı artar. Artan karbon oranı ile de kırılgenlığı azalır. Kimyasal bileşimi kalitesine göre kullanılan hammaddeye ve yukarıda belirtilen koşullara bağılı olarak % 58- 67 Cr, % 25-30 Fe , % 4-10 C , % 1,5-2 Si , % 0,04 S(en çok) , % 0,05 P(en çok) bulunur.

Ferrokromun Ana Bileşen Ve Genel Özellikleri :

Elazığ ferrokrom curufunun ana bileşenleri magnezyum, silikat ve alüminattır.

Genel olarak örneklerin ana bileşenleri

- Silikat
- Alüminat
- Kalsiyum
- Magnezyum
- Demir oksittir.

Numunelerde kızdırma kaybı büyük farklılıklar göstermektedir. Fazla çıkan kızdırma kayıplarının kaynağı olarak organik maddelerin yanması, karbonatların bozulması ve killerin dehidratasyonu gösterilebilir.

Yüksek sıcaklıkta işlem görmüş curufta kızdırma kaybı düşüktür. Ferrokrom curufunun negatif kızdırma kaybı yüksek sıcaklıkta kısmen ağırlık artışı olduğunu ifade eder. Hava ile temas halinde yapılan kızdırma işleminde bazı bileşiklerin yükseltgenerek oksijen bağlamaları (metalik demir, krom ve demir (II) oksit gibi) ve böylece kızdırma kaybını negatif yapmaları mümkündür (Biçer,Pehlivan,vd ,1991).

BÖLÜM 3

CURUF BİLEŞİMLERİ

Curufları değişik amaçlarda kullanabilmek , ancak onların kimyasal ve fiziksel özelliklerini tanımakla mümkün olabilir. Curuf tüketen kuruluşların ısrarla üzerinde durdukları ve curuflarda aradıkları iki önemli husus bulunmaktadır. Bunlardan biri curuf bileşimlerindeki CaO , SiO_2 , Al_2O_3 veya P_2O_5 oranları, diğeri de curufların soğutuluş şeklidir. Curuftan çimento yapılacaksa bu bileşiklerden ilk üçünün, gübre yapılacaksa sonuncusunun curuflar içerisindeki miktarları önem taşır. Öte yandan curufların ani soğutulması yani granüle veya köpük halinde bulunması, hangi amaçla olursa olsun kullanılabilirliğini ve değerlendirilmeyi kolaylaştırır.

Yavaş soğutulmuş bir curuf parçalı, sert ve kırılıgandır. Hızlı soğutma ile curufun ince tanecikli bir yapıya ulaşması sağlanır ve silisyumun bünyede kompleks silikatlar oluşturması engellenir (Wey, Degreve, Vd 1991).

Curufun bileşimi; kullanılan cevherin yapısına, kireçtaşının bileşimine, kok tüketimine ve üretilecek demirin cinsine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişebilir. Bu faktörler curufun; kireç, silika, alümina ve magnezyumdan ibaret dört ana bileşeni ile sülfür kükürdü, demir oksit ve mangan oksitler gibi yan bileşenlerin oranlarını etkilerler. Aşağıdaki tablolarda bazı metalurjik üretim yöntemlerinde artık olarak elde edilen curufların yaklaşık bileşimleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Bazı Metalurjik Üretim Yöntemleri Artığı Olarak Elde Edilen Curufların Yaklaşık Bileşimleri(Yıldırım, 1987).

Yüksek karbonlu ferrokrom curufları	Ferromangan curufları	Yüksek Fırın curufları
% 28-31 SiO % 33-35 MgO % 27-30 Al ₂ O ₃ % 4-6 Cr ₂ O % 1-2 FeO, Fe ₂ O ₃ % 1-2 CaO % 0.1-0.2 S % 0.1-0.2 P	%21-23 SiO ₂ % 42-48 CaO % 1-3 MgO % 15-20 Al ₂ O ₃ % 4-10 MnO % 1.4-1.5 S % 0.5-1 FeO, Fe ₂ O	%30-50 SiO ₂ % 0.5-1 FeO, Fe ₂ O % 35-45 CaO % 7-15 Al ₂ O ₃ +TiO ₂ % 1-2 MgO % 1-2 MnO % 0-0.1 P ₂ O ₅ %2-5 CaS % 0.5-2.5 Alkali bileşikler

Metalurjik curuflar kalsiyum oksit(CaO), Silisyum dioksit (SiO₂) demir oksitleri (FeO, Fe₂O₃), magnezyum oksit (MgO), çinko oksit (ZnO), çinko sülfür (ZnS) ve pek çok diğer oksit ve sülfür bileşiklerinin karışımı şeklinde bulunurlar. Bu bileşikler ya gang minarelinden gelir ya üretici tarafından belli amaçlarla hammadde karışımına verilir, ya da reaktör içi reaksiyonları sonucunda oluşarak sonradan curufa geçerler (Yıldırım, 1987).

Demirdışı metallerin curuflarında, yukarıda verilen bakır izöbe curufu örneğinde de olduğu gibi; yüksek fırın, dökümhane, çelik ve ferro alaşımlarının curuflarından farklı olarak % 50 'ye varan oranda demir oksit bileşikleri bulunur. Ancak bu demir içeriğinin demir çelik üretimi açısından bir değeri yoktur.

Curufların oluşum ve ergime sıcaklıkları, ferro alaşımlarıninkiler dışında, 1000-1400 °C' ler arasında bulunur. Saf oksitlerin ergime

sıcaklıkları gerçekte bu sıcaklıkların çok üzerindedir. Ancak oksitler birbirleriyle daha düşük sıcaklıklarda birleşmeye karşı ilgili olduklarından ergime sıcaklıklarında önemli ölçüde düşme söz konusu olur.

Curufların karakterlerini belirleyen en önemli etken ; onun baziklik derecesidir. Başka bir deyişle baz anhidritleri olan CaO, MgO, FeO ve MnO'in asit anhidriti olan SiO₂'e olan oranıdır. Oksit bileşiklerinden TiO₂, Al₂O₃ ve ZnO anfoter bir davranış gösterirler. Yani bazik curuflarda asidik, asidik curuflarda da bazik özellik gösterirler (Yıldırım, 1981).

Curufların baziklik derecesi curuf karakterlerine ve kimyasal yapılarına göre üç ayrı formülle belirlenir. Baziklik derecesi (P) ile gösterilirse ;

$$P = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \quad (3.1)$$

basit şekildeki bağıntının kullanılması yeterlidir. Magnezyum oksitinin (MgO) fazla olduğu hallerde;

$$P = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} \quad (3.2)$$

ve bazikliği yüksek curuflarda ise ;

$$P = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO} + \text{MnO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \quad (3.3)$$

bağıntıları kullanılır. Bu oranın 1' den büyük çıkması halinde bazik , 1' den küçük çıkması halinde ise asidik curuflardan söz edilir. Bu oksitlerden ilke

olarak anfother özellikli olanların dışında kalanlar, curuflarda hiç bir zaman serbest halde bulunmazlar. Genellikle silikat bileşikleri halinde bulunurlar. Oluşan bağlar $x \text{ MeO} \cdot y \text{ SiO}_2$ formülü ile ifade edilebilen silikatları veya bir çok oksitten oluşan kompleks bağlı bileşikleri meydana getirirler. Silikat oluşumunda ; asite bağlı oksijenin baza bağlı oksijene olan oranına göre 7 değişik tip ve isimde silikat bileşiğinin oluştuğu gözlenmiştir. Silikatlara örnek olarak $4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ve $2 \text{ FeO} \cdot \text{SiO}_2$ bileşikleri verilebilir.

Bazik curuflar asidik curuflara oranla daha az iç sürtünme ve buna bağlı olarak da daha yüksek bir akışkanlık özelliği gösterirler. Asidik curufların akışkanlıkları, camları andırır. Aşırı hızlı soğutmalarda camsı bir özellikte katılaşır. Bunun nedeni; polimer yapıdaki silisyum dioksitin düzensiz sıvı halde iken diğer iyonların difüzyonunu güçleştirmesi ve kristal bünyelerinde toplanmalarını engellemesidir. Silisyum dioksitçe zengin curuflar $700 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de yumuşarlar, $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ gibi oldukça yüksek bir sıcaklık değerinde yeterli akışkanlık derecesine ulaşabilirler. Yapılan çeşitli metalurjik uygulamalarda akışkanlığın CaF_2 , FeO , MnO , CaO ve BaO ile arttığı; SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ile azaldığı gözlenmiştir.

Curufların akışkanlıklarını, akışkanlıkları bilinen bazı maddelerle karşılaştırabilmek amacıyla aşağıdaki tablo verilmiştir (Yıldırım, 1981).

Tablo 3.2. Curufların Viskozitelerinin Bazı Akışkanlarla Karşılaştırılması

Maddenin Adı	Sıcaklık (°C)	Akışkanlık (Poise)
Su	20	0.01
Çelik	1600	0.01
Sülfirik asit(derişik)	50	0.10
" " "	25	0.20
Saf gliserin	20	15.00
Parafin yağı	20	1.00
Hint yağı	20	10.00
" " "	10	24.00
Ağır motor yağı	20	100.00
Pencere camı	1400	100.00
Çok akışkan curuflar		≤5.00
Akışkanlığı iyi curuflar		≤10.00
Az akışkan curuflar		≤20.00
Çok az akışkan(yüksek ağıdalıklı curuflar)		20.00

Metalurjik üretimlerde curuf ile metal fazlarının en ekonomik bir şekilde birbirlerinden ayrılması, değerlendirilebilir özellikteki metallerin curufa değil metal fazına geçmesi istenir. Ancak bu arada bunu da belirtmekte fayda vardır, ne kadar çaba sarfedilirse edilsin, belli oranda metalin curufa geçmesi engellenemez. Ancak sonuçta daima bu yoldan doğabilecek kayıpların ihmal edilebilir düzeyde kalmaları amaçlanmaktadır.

Metallerin ve metal içerikli bazı ürünlerin oksidik curuf içerisinde çok az oranda çözünmeleri nedeniyle, reaksiyon sonucunda üretilen metal karışımlarının curuftan ayrılması tam denecek kadar ve kısa sürede cereyan eder. r yarıçaplı, μ dinamik viskozitesine sahip bir metal

damlacığının curuftan ayrılarak çökmesinde ulaşacağı v hızı ; metal ve curuf arasındaki özgül ağırlık farkı $\Delta\gamma$ olmak üzere Stokes yasası uyarınca;

$$v = \frac{2r^2 \Delta\gamma}{9\mu} \quad (3.4)$$

dır. Sıvı haldeki curufun özgül ağırlığı (3-4 ,5 kg/dm³) olup, curuf ve metal karışımının birbirinden iyice ayrılması için özgül ağırlık farkının en az 1- 1,5 kg /dm³ arasında bulunması gerekir.

Tablo 3.2' de verilen curuf akışkanlığını belirleyen viskozite değerleri metalurjik açıdan çok önemli bir büyüklüktür. Curuf yapısında meydana gelecek çok küçük oranlardaki değişmeler viskozitenin önemli ölçüde değişmesine yol açabilir.

Mükemmel akışkan curuflarda viskozite değeri 5 p nin altında bulunur. Akışkanlığı oldukça iyi curuflarda bu değer 5 p ile 10 p arasında, az akışkan curuflarda 10 p ile 20 p arasında ve çok az akışkanlık gösteren curuflarda ise 20 p nin üzerinde bulunur.

Tablo.3. 3 Çimento Bileşimleri

Bileşik	Portland Çimentosu	Özel Portland Çimentosu	Curuf Çimentosu	Boksit Çimentosu
SiO ₂	19÷24	21÷27	24÷30	6÷9
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	4÷9	6÷10	7÷16	46÷50
FeO+Fe ₂ O ₃	1.6÷6	1÷4	1÷3	0.5÷1
MnO+Mn ₂ O ₃	0÷0.5	0.3÷1.5	0.5÷1.5	0÷0.3
CaO	60÷67	54÷60	43÷55	37÷42
MgO	0.6÷3	3÷4	2÷6	1.5÷2
SO ₃	1÷3	1÷3	1÷4	0÷0.4
S	0	0÷1	0.5÷1.5	0÷1

Curufları çimentolarla karşılaştırabilmek amacı ile bilinen çeşitli çimentoların tür ve bileşim değerleri Tablo 3.3 de verilmiştir. Bu tablonun Tablo 3.1 yapılacak karşılaştırılmasından da anlaşılacağı gibi çimentoyu ve curufu oluşturan bileşikler arasında pek fazla fark yoktur, fark sadece bileşim oranları dağılımında ortaya çıkmaktadır (Yıldırım, 1987).

3.1 YÜKSEK FIRIN CURUFU VE BİLEŞİMİ

Yüksek fırın curufu, yüksek fırında belirli oranlarda kok ve kireç taşı ile karıştırılmış demir cevherinden demir üretimi sırasında, cevherin gang bileşenleri ile kireç taşının birleşmesinden oluşan bir yan üründür. Ele geçen curufun miktarı, cevherin demir oranına, fırının büyüklük ve verimine bağlı olarak, genellikle 1 ton demir başına 0,3- 1 ton arasında değişir (Özışık, 1985).

Yurdumuzda halen işletme halinde bulunan demir-çelik fabrikalarından

Karabük Demir-Çelik fabrikasında 1963 yılından sonra curuf granüle edilerek Bartın Çimento fabrikasına yılda 90 bin tona kadar verilmeye başlamıştır. Tablo 3.4' de çeşitli ülkelerde 1970 yılında üretilen curuf miktarları verilmiştir.

Tablo 3.4 Çeşitli Ülkelerin Yüksek Fırın Curufu Üretimleri.

ÜLKE	CURUF (TON)	ÜLKE	CURUF (TON)
ABD	33 656 000	Belçika	3 556 000
Rusya	32 172 000	Romanya	1 792 000
Japonya	26 208 000	Hindistan	1 722 000
B. Almanya	12 740 000	Yugoslavya	893 000
İngiltere	7 784 000	Türkiye	639 000
Fransa	6 440 000		

Türkiye' de 1970 yılında üretilen 639192 ton curufun sadece 9112 tonu granüle edilmiştir. 1982 yılında toplam curuf üretim miktarı ise dört demir-çelik fabrikası itibarıyla 3420000 ton kadardır (T.S.E ,704,705).

Curufun ana bileşenleri; kireç, silika ve alümina gibi Portland çimentosu oksit bileşenleri ile aynıdır, ancak oranları değişiktir.

Curuf; yol ve yapı endüstrilerinde, çimento üretiminde, betonda ve asfaltlamada agrega üretiminde, termik yalıtım için curuf yünü imalinde geniş olarak kullanılmaktadır. İngiltere' de büyük miktarı yol yapımında tüketilmektedir. Çimentoda curufun kullanılışı çeşitli Batı Avrupa ülkelerinde geliştirilmiş, üretilebilir çok çimento çeşitleri aşağıda özetlenmiştir :

1- Uygun oranlarda kireçtaşı ile karıştırılan curuf, Portland

çimentosu üretiminde bir hammadde olarak kullanılır.

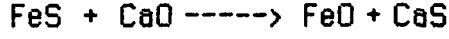
2- Granüle yüksek fırın curufu , çeşitli oranlarda portland çimentosu klinkeri ile karıştırılarak öğütülür. Böylece yüksek fırın curufu çimento üretilmiş olur.

3- Granüle curuf , az miktarda aşırı ısıtılmış jips veya anhidrit ile daha az oranda çimento veya kireç katılarak öğütülür ve süper sülfatlı çimentolar üretilir. Bu tür çimento esas itibariyle Belçika, Fransa, Almanya ve İngiltere' de imal edilmektedir.

4- Öğütülmüş granüle curuf sönmüş kireçle karıştırılarak soğuk işlem curuf çimentosu üretiminde kullanılır.

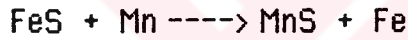
Yüksek fırında hamdemir üretimi esnasında hamdemire ve baca gazına geçemeyen bileşikler curufta toplanırlar. Curuflar, esas itibariyle çeşitli oksitlerin bir araya gelerek oluşturdukları ve yapılarında yüksek oranda kalsiyum, alüminyum ve silisyum ihtiva eden bileşiklerdir. Dolayısıyla silikattırlar. Curufun kesin ergime sıcaklığını vermek, çok zordur. Çünkü curuf birbirinden oldukça farklı yapıları ihtiva eder ve bunlar ısı etkisiyle yumuşama (gevşeme) gösterirler. Bu sebeple curuflarda ergime sıcaklığı yerine " serbest akış sıcaklığı" denilen başka bir büyüklük kullanılır. Serbest akış sıcaklığı bazik curuflarda yumuşama sıcaklıklarının 90-150 °C üzerinde, asidik curuflarda ise 200 °C' nin üzerinde bulunur. Dolayısıyla asidik curuflarda akış daha güç olmaktadır. Yüksek fırınlarda curuf sıcaklığı 1400-1600 °C arasında değişir. İlke olarak curuf sıcaklığı hamdemirinkinden 300-400 °C daha yüksek bir değere sahiptir. Curuflarda fosfor pentaoksit içeriği ortalama %1 civarında bulunur. Ancak bazı özel durumlarda bu oran %3 e kadar yükselebilir (Yıldırım, 1981).

Yüksek fırınlarda hamdemire koktan geçen kükürdün alınması işlemini curufta fazla miktarda bulunan kalsiyum oksit yapar.

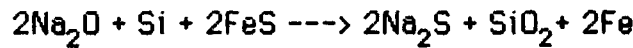
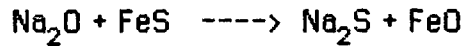
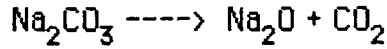


Curuf içerisinde yukarıda verilen reaksiyonun yeterince hızlı vuku bulması, curuf yapısında demir oksitlerin az olmasına bağlıdır. Bu nedenle kükürt hamdemir bünyesinden metal banyo içerisinde veya potada mangan ve soda ile uzaklaştırılır.

a- Manganla kükürt giderme işlemi :



b-Sodayla kükürt giderme işlemi :



Pota içerisinde kükürt alma işleminde her ‰ 0.1 S miktarı için yaklaşık ‰0.5 soda gerekir. Soda; ya hamdemirin yüksek fırından boşaltılması esnasında, ya da çelik üretiminden önce hamdemirin karıştırıcıdan alınması sırasında potaya verilir (Yıldırım, 1981).

Ancak bu işlemlerde, soda katılması sebebiyle aşırı derecede akıcılık kazanan kükürt içerikli curufun dikkatle ve ustalıkla süzülmesi gerekir.

Bazı tesislerde kükürt giderme işlemleri için; kalsiyum karbürden(karbit taşından) yararlanılmaktadır. 1 ton demir için yaklaşık olarak 2.75 kg CaC_2 kullanılmak suretiyle hamdemir içerisindeki kükürt büyük ölçüde (yaklaşık %50 oranında) atılabilmektedir. Çeşitli yüksek fırın curufunun bileşimi aşağıdaki tabloda verilmiştir (Biçer, 1990).

Tablo 3.5. Yüksek Fırın Curufunun Bileşimi (%).

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	S
Karabük	37.04	35.61	17.57	6.96	0.39	1.24	1.26
Ereğli	39.58	35.27	12.31	6.05	1.91	1.89	2.02
İskenderun	35.15	35.15	14.84	10.03	0.47	1.67	1.24
İngiltere	38.42	32.37	10-22	3-9	1.4-13	0.3-1	1.1-2.4
Almanya	40-44	34-35	11-13	6-8	0.3-0.4	0.5-1.1	1.4-1.8

3.2 GRANÜLE CURUF

Granüle curuf gibi camsı (amorf) maddeler, aşırı soğutulmuş sıvılar olarak düşünülebilir. Sıvı haldeyken hızla soğutulan silikat erimlerinin camsı faz vermeye eğilimli olması karakteristik bir özelliğini oluşturur. Sıvı fazdan kristal katı faza geçiş, iyonların yeni bir düzene girmesi ve kristalde belirli bir yönelişle gerçekleşir. Erimiş silikatların erime noktası yakınındaki viskoziteleri çok büyük olduğundan bu düzenleme ancak yavaşça gerçekleşir. Soğuma hızla gerçekleşirse iyonik gruplar düzensiz

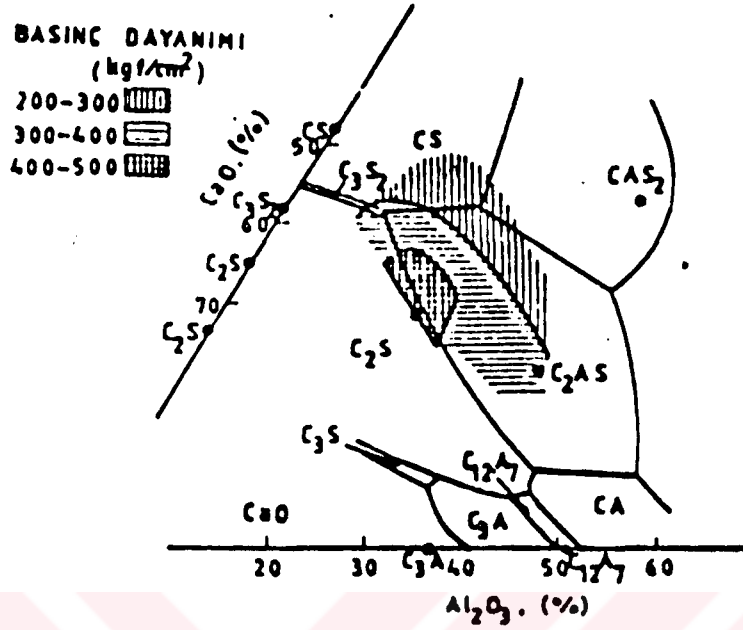
olarak sıralanırlar ve sıcaklık düşerken viskozite çok çabuk artar. Curuf sıvı halden, kristalik bir düzenleme olmaksızın katı gibi sertleşen amorf faza dönüşür. Yani camı maddeler, yüksek viskoziteye sahip aşırı soğutulmuş sıvılardır, belirli bir erime noktaları yoktur, ancak ısıtıldıklarında yumuşarlar ve giderek sıvılaşır. Bir kristal katının erime noktasının altındaki sıcaklıklarda kararlı hali, mükemmel kristal katı halidir. Camı katılar kararsızdır ve kristalik hale geçmek isterler, ancak yüksek vizkosite, iyon hareketliliğini azalttığı için bu geçişe mani olur (Saequa , 1974).

Hava ortamında soğutulan curufun çimentolaşabilme özelliği yoktur veya çok azdır. Granüle curuf tek başına ihmal edilebilecek kadar az çimentolaşabilme özelliğine sahiptir. Ancak yeterli miktarda aktifleştirici ihtiva ederlerse, aşırı silikalı curufların dışındakiler, dikkati çekecek çimentolaşma özelliği gösterirler. Aktifleştiriciler; kireç, portlant çimentosu, sodyum hidroksit veya sodyum karbonat gibi alkaliler, magnezyum, kalsiyum veya alkali sülfatları olabilir (Kubrik, 1987).

Genel olarak curufun bazikliği arttıkça, alkali aktifleştirici eşliğinde hidrolik aktivitesi de artar. Eğer sülfatlı aktifleştirici kullanılmışsa baziklik yanında curufun alümina oranında yüksek veya en azından normal olmalıdır. Hidrolik aktive için başlıca faktör camı madde oranıdır. Granülasyon sırasında erimiş curufun sıcaklığı ne kadar yüksekse hidrolik aktivite de o kadar yüksek olur. Curufun ihtiva ettiği camı madde miktarı ile dayanımlar arasında kabaca doğrusal bir ilişki vardır. Curufun kristalik faz oranı arttıkça , bazı mineraller dayanımlara katkıda bulunsa da çimentolaşma özelliği azalır. Bu kristalik fazlar α veya β - dikalsiyum

silikattır. Gehlenit (C_2AS) ve akermanit (C_2MS_2) de aktif olabilir. Curufun kimyasal bileşimi de hidrolik aktiviteyi etkiler. Hidroliklik, CaO/SiO_2 oranıyla bir limit değeri kadar artar. CaO 'in daha fazla artışı, camsı madde oranı yüksek granüler üretmeyi güçleştirir (Kuzentsov, Klimushkin, Vd. 1989). Sabit bazıklıkte dayanım Al_2O_3 oranı ile artar ve CaO 'teki eksiklik daha büyük miktardaki alümina ile telafi edilebilir. Demir ve mangan oksitlerin her ikisi zıt etkiye, relatif olarak yüksek kalsiyum sülfür ise olumlu etkiye sahiptir. MgO 'in etkisi curufun bazıklığıne ve alümina oranına bağlıdır. %8-10 arasında değişen MgO dayanım gelişmesine az etkide bulunur. Daha yüksek MgO ters etkiye sahiptir. % 5 MgO eklenmiş ve Portland çimentosu klinkeriyle aktive edilmiş $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ sisteminde camsı maddenin 28 günlük basınç dayanımı Şekil 3.1 'de verilmiştir.

Camsı madde, Portland çimentosu ve jips ağırlıkça % 77 : 18 : 5 oranında karıştırılmış ve DIN 1165 standardına göre test edilmiştir. En uygun cam bileşimi % 50 CaO , % 31 SiO_2 ve % 19 Al_2O_3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Portland Çimentosu Klinkeri ile Aktivite Edilmiş Camısı Maddelerin CaO - Al₂O₃ - SiO₂ Sistemindeki 28 Günlük Basınç Dayanımları.

3.3. CURUFUN PORTLAND ÇİMENTOSU KLİNKERİ ÜRETİMİNDE HAMMADDE OLARAK KULLANIMI

Bir curuftan çimento klinkeri katkısı olarak yararlanabilmek için onun yapısında yüksek oranlarda (% 50 - 70) CaO ve yüksek oranda (% 20 - 30) SiO₂ ya da boksit çimentosunda olduğu gibi silisyum dioksit yerine yine yüksek oranda (% 45 - 50) Al₂O₃ bulunmalıdır. Normal şartlarda (açık havada) ve yavaş soğutulmuş curuflar bu özellikleri taşısalar bile klinker katkısı olarak kullanılmaları mümkün değildir. Mutlaka hızlı soğutulmuş olmaları gerekir (Luikov, Shashkov, Vd. 1968).

Üretim metodu kil veya şist kullanılışında olduğu gibidir. Curuf ve kireç taşı öğütülerek gerekli oranda karıştırılır ve döner fırında pişirilir.

Ele geçen klinker, MnO verdiği kahverengimsi renk dışında kil kullanılarak elde edilen klinkerle tamamen aynıdır. Yüksek kireçli curuflar daha az klinker taşı gerektirdiği için genellikle tercih edilir. Az miktarda kireç taşının kalsinasyonu gerçekleşeceğinden bu metaller portland imento su üretimine oranla daha az yakıt tketer (Biçer, 1990).

Havada soğumuş curuf yığınları bazen kullanılırsa da granüle curufun kullanılışı daha yaygındır. Su ile granüle edilen curuf % 10 - 40 arası su ihtiva ettiği için uygun bir döner kurutucuda kurutulmalı ve sonra öğütülerek kireç taşı ile karıştırılmalıdır. Kurutma ve öğütme her ikisinde pahalı işlemlerdir. Ancak yaş methodla üretimde, yüksek kireçli yüksek fırın curufu ihtiva eden imento hammadde çamurunun, curufun gizli çimentolaşma özelliği sebebiyle prizlenmesi ve katı bir kütleye dönüşmesi problemiyle karışılaşılır. Bu zellik granüle curufta, havada soğumuş curufa oranla daha ciddidir ve sıcaklık artıkça da artar. Özellikle 36 C 'nin üzerinde prizlenme çok hızlı olur. Bunun önüne geçmek için prizlenmeyi inhibe eden az miktar şeker kullanılır ve çamur mümkün olduğu kadar az süre depolanır.

BÖLÜM 4

FERROKROM CURUFUNUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Bir endüstriyel katı artık olan ferrokrom curufu, granüle halde olup ince agrega niteliğindedir. Normal kum-çakıl malzemesine oranla oldukça hafif ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Normal curuf açık gri renktedir. Bünyede MgO miktarı azalıp SiO₂ miktarı yükseldikçe curufun rengi siyahlanmaya başlar. Curuftaki MgO miktarı hammadde tenörüne bağlıdır. Boksit ve kuvarsit arttıkça MgO miktarı düşer. Curufun kimyasal yapısı incelendiğinde , bünyesinde SiO₂, Al₂O₃, MgO, Cr₂O₃, FeO, CaO gibi oksitlerden meydana geldiği görülür. Kimyasal kompozisyonlarda % 30 civarında SiO₂ bulunmaktadır. Silisyum dioksit (SiO₂) agregası dayanıklılık yönünden sağlam bir yapı özelliğine sahiptir(Arpacı,1966). Curufun içerdiği MgO ve CaO serbest halde bulduklarından betona zararlı etkileri olmamaktadır. Bu çalışmada kullanılan curufun analizi sonucu bileşenler ve yüzdeleri aşağıda verilmektedir.

SiO ₂ : % 28.50	Cr ₂ O ₃ : % 3.70
Al ₂ O ₃ : % 33.70	Fe ₂ O ₃ : % 0.90
MgO : % 31.80	CaO : % 0.50

Yapılan birim hacim deneylerinde söz konusu curufun normal beton agregalarına göre oldukça hafif olduğu tespit edilmiştir. Deney sonuçlarında:

Gevşek Birim Hacim Ağırlığı : 0.88 g/cm^3

Sıkışık Birim Hacim Ağırlığı : 1.00 g/cm^3

olarak tespit edilmiştir. Gevşek birim hacim ağırlığı normal betonların üretiminde kullanılan agregalarda ortalama olarak 1.6 g/cm^3 değerindedir. Özgül ağırlığı deneyinde özgül ağırlık 1.92 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Bu değer normal beton agregalarında ortalama olarak 2.80 g/cm^3 alınmaktadır (Biçer, 1990).

SiO₂'in Curuf Özelliklerine Etkileri:

- 1- Curufun elektrik iletkenliğini artırır.
- 2- Curufa geçen Cr₂O₃ miktarını düşürür. SiO₂ miktarı düşer ve kok sabit tutulursa curufta Cr₂O₃ miktarı artar.
- 3- CaO'in az, kok miktarının fazla olduğu durumlarda redüklenerek metale geçer.
- 4- Curufun akışkanlığını azaltır.

MgO' in Curuf Özelliklerine Etkileri :

- 1- Curufa akışkanlık kazandırır.
- 2- Curufa bazik özellik kazandırır.
- 3- MgO miktarının SiO₂'den fazla olması halinde, bazik tuğlaları korur.
- 4- Elektrik ve ısı dirence etkisi önemsizdir.
- 5- CaO olmayan ortamlarda onun bazı absorpsiyon özelliklerini kısmen üstlenir.

Curuftaki MgO miktarı ham maddenin tenörüne bağlıdır. Boksit ve kuvarsit miktarı arttıkça curuftaki MgO miktarı düşer. Curuftaki SiO₂ miktarı % 30' un üstüne çıkarsa ve aynı zamanda Al₂O₃ miktarının düşmesiyle curufun ergime sıcaklığı 1600 °C' ye kadar düşer. Normalde curufun ergime sıcaklığı ise 1700 °C ile 1750 °C civarındadır. Curuf sıcaklığının düşmesi ile direnç düşer ve elektrik ark fırınlarındaki elektrodların çektiği amper yükselir. Curuf sıcaklığı artarsa metaldeki karbon oranı düşer. Çünkü yüksek sıcaklıklarda metalde karbürler oluşamaz (Biçer,1991).

Curuf sıcaklığı 1700 °C' nin altına düşerse metalik yapıya kükürt girer. Kükürtün % 60 - 70' i metale, % 20 - 30' u curufa % 10' u kadarı da baca gazları yoluyla atmosfere atılır. Curuftaki SiO₂ miktarının % 30' un üstünde olması, metalik yapıya geçişi düşürür. Curuf sıcaklığı arttıkça viskozitesi düşer, akışkanlık fazlalaşır. Curuf sıcaklığının yüksek olması metaldeki silis yüzdesini yükseltir.

Al₂O₃'in Curuf Özelliklerine Etkisi

- 1- Curufun elektrik direncini artırır.
- 2- Curufta 1700 °C' nin üzerindeki sıcaklıklara erişmeyi sağlar.
- 3- Curufun ergime sıcaklığını yükseltir.
- 4- Metal yapısındaki karbon ve kükürt oranını düşürür.
- 5- Metalin aşırı ısıtılmasını temin ederek akışkanlığını artırır.

CaO ve Fe₂O₃'in Curuf Özelliklerine Etkisi

- 1- Curufun ergime sıcaklığını düşürür.
- 2- Kükürt, karbon ve fosforun metale geçmesini zorlaştırır.
- 3- Metalin soğumasına sebep olurlar. Curufta ancak yüksek oranlarda iseler etkili olurlar. Aksi halde etkileri görülmez.
- 4- İyi absorpsiyon özellikleri vardır.

Bir ton ferrokrom üretimi için gerekli olan hammadde miktarları aşağıdaki gibidir.

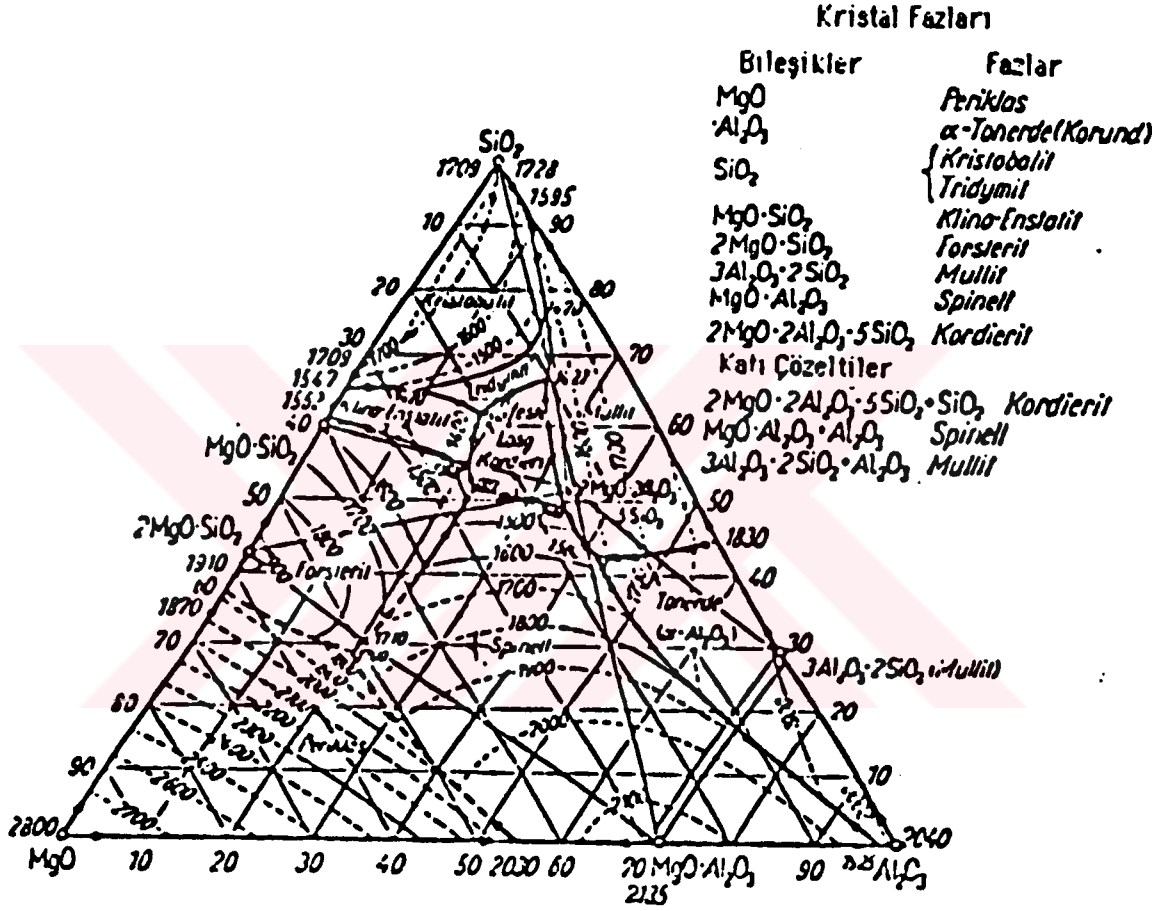
Krom Cevheri (Roş 48)	2600 Kg.
Boksit (Al ₂ O ₃)	231 Kg.
Kuarsit (SiO ₂)	215 Kg.
Kok Kömürü	486 Kg.

Hammadde oranlarının, yukarıdaki değerlerden az veya çok olması aşağıdaki sakıncaları doğuracaktır :

- 1- Kok miktarı az olursa, curufun viskozitesi artar, ergime derecesi yükselir ve curufta Cr₂O₃ miktarı fazlalaşır.
- 2- Kuvarsit miktarı fazla kok miktarı az olursa, curuf soğuktur. (1600°C) ve akışkanlık fazladır. Curuftaki SiO₂ , FeO ve Cr₂O₃ miktarı fazlalaşır.
- 3- Kuvarsit ve kok miktarının birlikte fazla olması halinde curuf içi metal parçaları ve indirgenmemiş cevher bulunacağından curuf akmaz fırın astarını aşındırır. Çünkü curuf asidiktir. Kuvarsit miktarının az olması

halinde curuf sıcaklığı yükselir ve curuf daha akıcı olur.

Şekil-4.1 de $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ üçlü denge diyagramında Ferrochrom curufu gösterilmektedir (Oelsen,Schürmann, 1961).



Şekil 4.1 $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ Üçlü Denge Diyagramı.

BÖLÜM 5

DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER

5.1 GİRİŞ

Deneysel çalışmada kullanılan yöntem, malzemeler ve hazırlanan numunelere uygulanan deneyler aşağıda verilmiştir. Deneyler iki aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada, ferrokrom curuf, çimento ve kireç karışımından yapılan yalıtım sıva numunelerinin ısı iletim katsayıları, kararsız sıcak tel yöntemi (Hot-Wire) tekniğiyle tespit edilmiştir. İkinci aşamada bu yalıtım sıva numuneleri su emme, kuruma ve özgül ısı deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca küp numuneler hazırlanıp mekanik deneyler yapılarak kullanılabilirlik özellikleri araştırılmıştır.

5.2 Deneylerde Kullanılan Materyal ve Hazırlanması:

Bu çalışmada kullanılan malzeme, Elazığ Ferrokrom Tesislerinden temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak birinci grupta (KPÇ 325) Portland Çimentosu , ikinci grupta toz halindeki kireç, üçüncü grupta da kireç + çimento karışımı olmak üzere üç ayrı bağlayıcı malzeme tipi kullanılmıştır. Her üç grupta da bağlayıcılar ağırlık bakımından %90, %70, % 50 , %30 oranlarında alınmıştır. Deney numuneleri hazırlanırken ısı iletkenlik katsayısını ölçen aletin probunun ölçüleri göz önünde bulundurularak 150 mm x 60 mm x 20 mm ebatlarında 12 adet metal kalıp hazırlandı. Ayrıca 71mm x 71mm x 71 mm ebatlarında 24 adet küp numuneler hazırlanmıştır.

Elenerek hazırlanan ferrokrom curufuna ağırlıkça % 90, % 70, % 50 veya % 30 oranlarında çimento, kireç veya çimento + kireç olmak üzere üç tip bağlayıcı malzeme katılmak suretiyle ayrı ayrı karışımlar oluşturuldu. Bu karışımların her biri ağırlığının 2/3 ü kadar su ile karıştırılarak oda sıcaklığında (25 °C) cam playt üzerindeki metal kalıplara döküldü. Bu kalıplar titreşime tabi tutulduktan sonra üst yüzeyler sıvanarak oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Bu şekilde 24 saat kalıp içerisinde bekletildikten sonra rutubet dolabına konularak ikinci bir 24 saat rutubet kürüne tabi tutuldu. Daha sonra yine sabit oda sıcaklığına alınarak 28 günlük standart kuruma dönemine bırakıldı. Kuruma dönemi sonunda numuneler ölçüm anına kadar muhafaza edildi.

Bütün numuneler bağlayıcı tipine ve karışım oranlarına göre harf ve rakamlarla kodlandı. Bu kodlamalarda harfler bağlayıcı tipini göstermektedir. (Ç= Çimento, K= Kireç, D= Kireç+çimento). Rakamlar ise bileşim oranlarını göstermektedir. (1=%10 curuf %90 bağlayıcı, 2=%30 curuf %70 bağlayıcı, 3=%50 curuf %50 bağlayıcı, 4=%70 curuf %30 bağlayıcı).



Şekil 5.1 Dikdörtgen Ebatlarında Hazırlanan Deney Numuneleri



Şekil 5.2 Küp Ebatlarında Hazırlanan Deney Numuneleri

5.3. Isı İletim Katsayısı Ölçümünde Kullanılan Ölçme Aleti ve Çalışma Yöntemi (Hot-Wire Yöntemi)

Homojen bir malzemenin ısı iletim katsayısının değeri, birim zamanda (1saat), birim yüzeyinden ($1m^2$), birim uzunlukta (1m), $1\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık düşümü halinde ısı akımı miktarına eşittir. Isı iletim katsayısı malzemenin cinsine, birim hacminin ağırlığına, gözeneklik durumuna, rutubet miktarına, sıcaklığına vb. faktörlere göre değişir (Kakaç, 1987). Buradan ısı iletim katsayısı;

$$k = \frac{Q.L}{A(T_1 - T_2)} \quad (5.1)$$

bağıntısıyla ifade edilir.

Aşağıda bazı maddelerin ısı iletim katsayıları verilmiştir.

Tablo 5.1 Değişik Maddeler için Isıl İletim Katsayıları

MALZEME	ISI İLETİM KATSAYISI (W/mK)
Gazlar	0.002-0.2
Su	0.5-0.7
Katılar(metal olmayan)	0.03-3
Katılar(Alaşımlar)	20-200
Saf metaller	40-400
Beton	0.814
Kum taşı	1.63-2.08
Granit	1,73-3,98

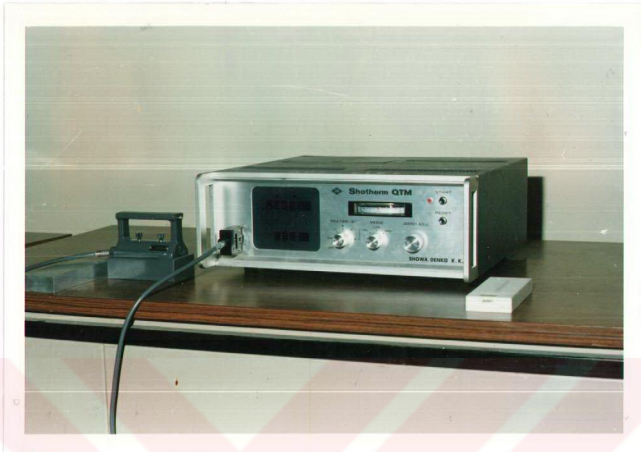
Çeşitli yapı ve ısı yalıtım malzemelerin ısı iletim katsayılarının

ölçümü; sürekli rejim veya geçici rejim yöntemleri olmak üzere iki metodla yapılmaktadır. Alışılmış yöntem, sürekli rejimde ısıtılmış plaka yöntemidir. Bu yöntemde; ölçümü yapılacak iki örnek levha, ısıtılmış bir plaka ile iki soğutucu plaka arasına yerleştirilir. Örnek levhayı ısıtmak için gerekli elektrik enerjisi, ısı enerjisine dönüştürülür ve k katsayısını veren ifade yardımıyla ısı iletim katsayısı hesaplanır. Geçici rejimde ölçüm yapan cihazlar ufak boyutlardaki malzemenin ısı iletim katsayısını daha kısa sürede saptayabilmektedir. Geçici rejim yöntemleri arasında Angstrom yöntemi, Flash Yöntemi ve Hot Wire Yöntemi başlıcalarıdır (Saequsa,Kamata,Vd. 1974).

Bu çalışmada geçici rejimde ısı iletim katsayısının ölçümünde kullanılan Hot- wire yönteminde :

- 1- Numunelerin ısı iletim katsayıları kolay , hassas ve kısa sürede ölçülebilmektedir.
- 2- Ölçüm esnasında numunenin içerisindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana gelmemektedir. Böylece gerçek ısı iletim katsayısı ölçülmektedir.
- 3- ısı iletim katsayısı, ölçülen malzemenin boyutları küçük olabilmektedir, yapısı heterojen olarak alınabilmektedir.

ısı iletim katsayılarının ölçümünde İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Isı Laboratuvarlarında bulunan ve DİN 51046'ya göre geliştirilmiş, kararlı sıcak tel yöntemini kullanan Shotherm-OTM-D2 aleti kullanılmıştır.



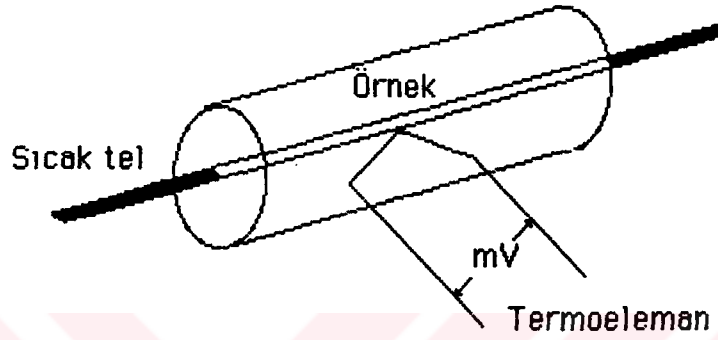
Şekil 5.3 Isı İletim Katsayısı Ölçme Aleti

5.3.1. Hot-Wire Yöntemi

Bu yöntem ısı yalıtkanlı ve yapı malzemelerinin ısı iletim katsayılarının kolay ve hassas olarak ölçülebilmesi için uygun bir yöntemdir. Bu yöntemin en büyük avantajı, malzemenin içindeki nem derecesinde bir değişiklik meydana getirmeden gerçek ısı iletim katsayısının ölçülebilmesidir. Bu yöntemin levha tipi ısı iletim ölçme yönteminden farkı ısı iletimi ölçülen ortamın çok yapılı(heterojen) olması durumunda bile ölçüm yapılabilmesidir (Wysniaukas,Zikas,Vd. 1988).

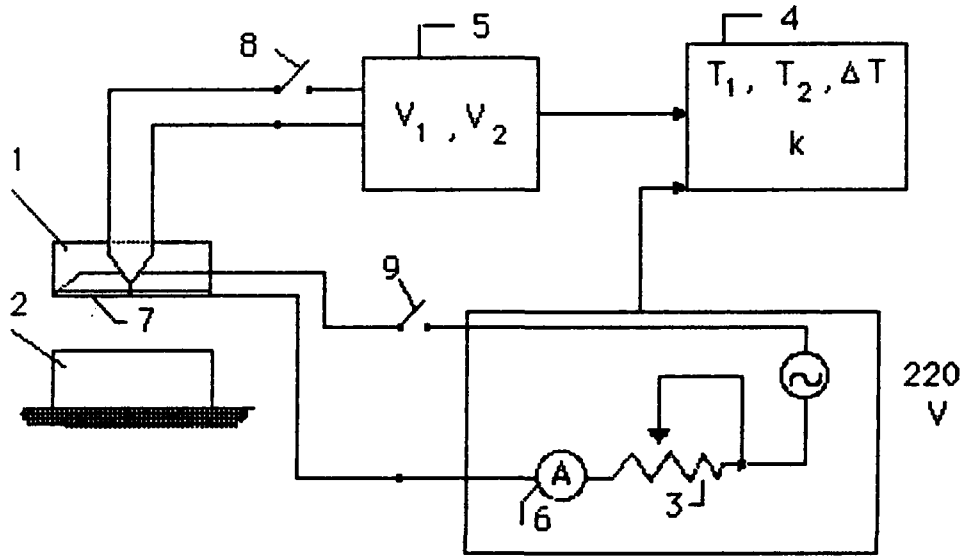
Bu metotta ölçme duyarlılığı (+%5+1 digit), ölçme aralığı ise 0.02-10 (W/mK) olarak verilmektedir. Hot-Wire yöntemiyle magnezyum oksit içeren malzemelerin ısı iletim katsayıları 300-1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda bile tespit edilebilmektedir (Denko,Showa).

Bu yöntemde ısıtıcı tel (Krom-nikel) ve bu tele orta noktasından dokunacak şekilde lehimlenmiş termoeleman(kromnikel-nikel) iki örnek arasına yerleştirilir. Bu şekilde düzenlenmiş basit bir hot-wire yöntemi Şekil 5.4 de verilmiştir .



Şekil 5.4 Basitleştirilmiş Hot-Wire yöntemi.

Üstteki örnek yalıtılmış ve ısı iletim katsayısı bilinen bir plaka (prob) alttaki örnek ise ısı iletim katsayısı ölçülecek olan numunedir. Hot -Wire ölçme yöntemine göre hazırlanan ölçme sistemi Şekil 5.5' de verilmiştir.



Şekil 5.5 Isı İletim Katsayısı Ölçme Cihazı Devre Şeması.

1: ölçme probu, 2: iletkenliği bilinmeyen malzeme, 3: Ayarlı direnç (Potansiyometre)
4: Mikro bilgisayar, 5: Milivoltmetre, 6: Ampermetre, 7: Sıcak tel , 8,9: Anahtar.

Cihazda ölçüme başlamadan önce cihazın kalibrasyon işlemi yapılır. Bundan sonra 8 numaralı anahtar kapatılarak, termoeleman devresindeki 5 numaralı milivoltmetre ile V_1 gerilimi tespit edilir. Bu gerilime tekabül eden T_1 sıcaklığı, dijital ekranda okunur. Bu işlemin ardından 9 numaralı anahtar kapatılıp ısıtıcı tele 60 saniye süre ile elektrik akımı verilerek, tel sıcaklığındaki yükselme V_2 gerilimine kadar ekrandan T_2 sıcaklığı olarak tespit edilir. Bu arada $T_1 - T_2$ sıcaklık farkı da ΔT şeklinde ekrandan görülerek aynı anda ısı iletim katsayısı dijital olarak W/mK biriminde okunur.

Bu işlemler her ölçüm için yeniden tekrarlanarak sürdürülür.

5.3.2. HOT-WIRE YÖNTEMİNDE ISI İLETİM KATSAYISI HESABI:

Bu yöntemde ısı iletim katsayısı;

$$k = \frac{q \cdot \ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)}{4 \cdot \pi \cdot \Delta T} \quad (5.2)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$q = 0.86 \cdot R \cdot I^2 \quad (5.3)$$

elektrik-ısı enerjisi dönüşümü ile;

$$V_2 - V_1 = \zeta \cdot (T_2 - T_1) = \zeta \cdot \Delta T \quad (5.4)$$

termoelemanın gerilim sıcaklık ilişkisi kullanılırsa;

$$k = \frac{0.86 \cdot R \cdot I^2 \cdot \ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)}{\frac{4 \cdot \pi}{\zeta} \cdot (V_2 - V_1)} \quad (5.5)$$

elde edilir. Bu denklemde ;

$$0.86R \cdot \zeta / 4\pi = K \quad (5.6)$$

değeri sabit olup, kullanılan prop üzerinde (K) değeri verilmiştir.

Bu durumda;

$$k = \frac{K.l^2 \cdot \ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)}{(V_2 - V_1)} \quad (5.7)$$

şeklini alır. Ölçme probu ısı iletim katsayısı bilinen bir malzeme olup, çok iyi izole edilmesine rağmen çalışma sırasında bazı ısı kayıplar H ile gösterilirse ;

$$k = \frac{K.l^2 \cdot \ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)}{(V_2 - V_1)} - H \quad (5.8)$$

şeklini alır.

Deney numunelerinin ölçümlerinde OTM-PD 2 tipi ve 10190 seri numaralı prop kullanıldı. Bu proba ait sabit katsayılar cihaz kataloğundan alınmış olup aşağıdaki değerdedir.

$$K = 252 \cdot 10^{-4}$$

$$H = 33 \cdot 10^{-3}$$

Kullanılan probun K ve H değerleri cihaz üzerinde ayarlanabilmektedir.

Ölçülecek numunenin toz veya blok halinde olması ve yüzey pürüzlülüğüne göre farklı prop kullanılır. Her standart OTM probunun Cihaz ince ayarı ölçümlerden önce farklı K ve H sabitlerine göre ayarlanarak, ısı iletim katsayısı değeri (5.7) eşitliğinden cihaz içindeki mikrobilgisayar

ile hesaplanır. Ölçümü yapılacak malzeme, ısı iletim katsayısına göre aşağıdaki boyutlarda olmalıdır.

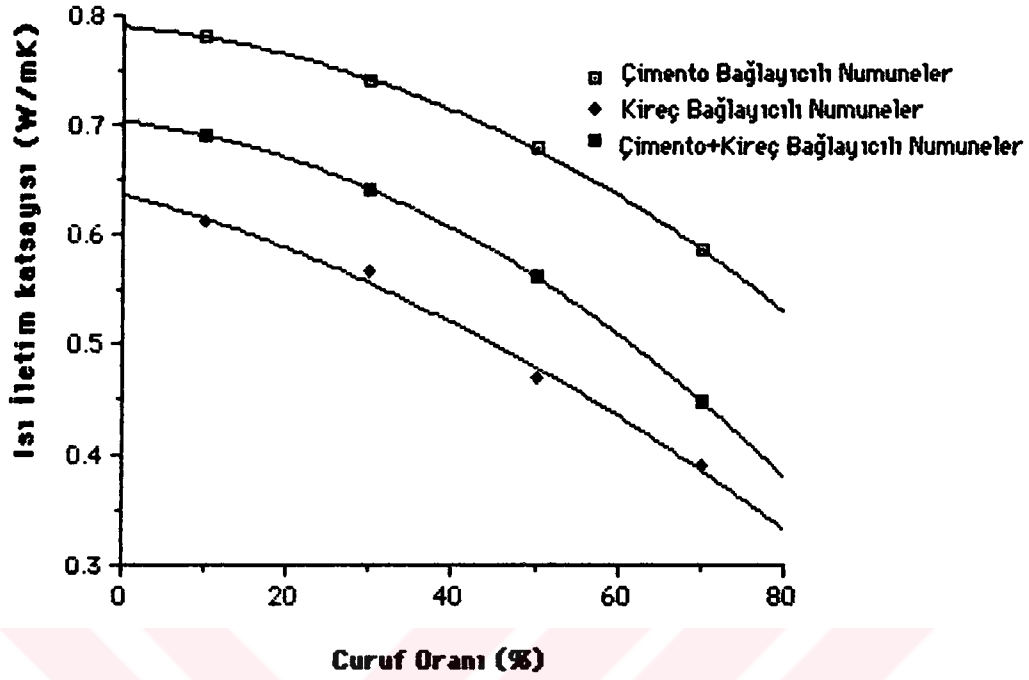
Isı iletim katsayısı (W/mK)	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)
0.002-0.2	6	50	100
0.2-1	15	50	100
1.0-3.0	20	60	100
3.0-10.0	40	100	100

Probun ve malzemenin yüzeyi temiz olmalı ve malzeme oda sıcaklığında olmalıdır. Cihazın doğru ölçüm yaptığını kontrol etmek için ilk ölçüm referans plakalarından biri ile yapılabilir. Ölçüm sonucu elde edilen ısı iletim katsayısını veren değer \pm %5 içinde ise ölçüm doğrudur.

Bu yöntemle deney numunelerinin herbiri için 28-30 °C oda sıcaklığında, üç ayrı noktadan üçer defa ölçüm yapılmış ölçüm sonuçlarının aritmetik ortamlamaları alınarak elde edilen ısı iletim katsayıları Tablo 5.2 'de gösterilmiş ve grafiğe aktarılmıştır (Şekil 5.6).

Table 5.2. Isı İletim Katsayısı Deney Sonuçları.

	MALZEME KODU	AĞIR. CURUF ORANI (%)	ISI İLETİM KATSAYILARI (W/mK)	YOĞUNLUK (g/cm ³)
ÇİMENTO BAĞLAYICISI	Ç1	10	0.781	1.82
	Ç2	30	0.740	1.67
	Ç3	50	0.678	1.60
	Ç4	70	0.584	1.55
KİREÇ BAĞLAYICISI	K1	10	0.610	1.15
	K2	30	0.565	1.20
	K3	50	0.470	1.25
	K4	70	0.390	1.30
KİREÇ+ÇİMENTO BAĞLAYICISI	D1	10	0.690	1.59
	D2	30	0.640	1.54
	D3	50	0.561	1.49
	D4	70	0.448	1.30

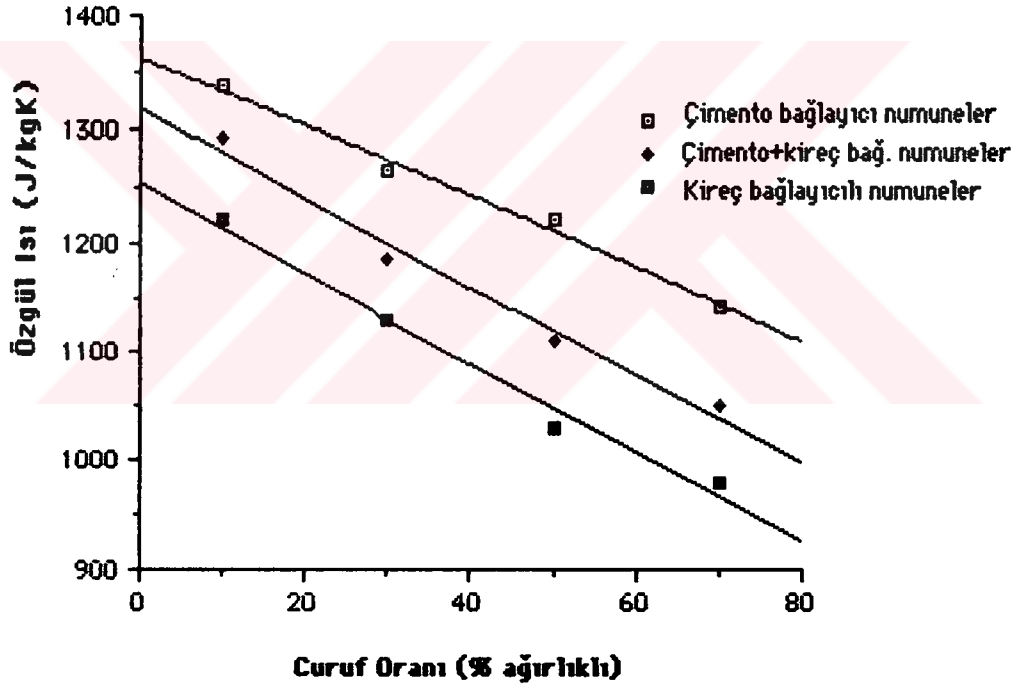


Şekil 5.6 Numunelerin Curuf Oranı - Isı İletim Katsayısı İlişkisi

5.4. ÖZGÜL ISI

Bu deneyde yakıtların ısı değerlerinin tespitinde kullanılan kalorimetre kabı kullanılmıştır. Kalorimetre kabının dış ortama ısı kaybı, kabın etrafına konan ikinci bir su gömleği ile önlenmektedir. Sıcaklık ölçen termoelemanın bir ucu kalorimetre kabını, diğer ucu ise dış gömleği okumaktadır. Termoelemanın uçları arasındaki gerilimi sıfırlamak için kalorimetre kabının sıcaklığındaki artışa paralel olarak dış gömlek sıcaklığı da otomatik olarak artmaktadır. Sıcaklık potansiyelindeki fark sıfırlandığı için, kalorimetre kabından dış gömleğe ısı akışı olmamaktadır. Her numune, sıcaklığı genleşme tipi bir termometreyle kontrol edilen bir etüvde, 84 °C sıcaklıkta yeteri kadar uzun süre bekletildikten sonra, kalorimetre kabında belirli bir miktarda ve sıcaklıkta bulunan saf suya

daldırılmıştır. Suyun başlangıçtaki sıcaklığı ile içine numune daldırılıp denge sağlandıktan sonraki sıcaklığı arasındaki fark, Beckmann termometresiyle ölçülmüştür. İlk önce yapılan kalibrasyon deneyinde, bir çelik blokun (≈ 0.5 C) özgül ısısı tablo değerlerine uygun şekilde 0.456 kJ/kg K olarak bulunmuştur. Böylelikle kalorimetre kabının ölçme duyarlılığı yeterli bulunduktan sonra, numunelerin özgül ısıları hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 5.3' de ve Şekil 5.7' de gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Numunelerin Özgül Isılarının - Curuf Yüzdesine Göre Değişimi.

Tablo 5.3. Numunelerin Özgül Isı Değerleri.

	MALZEME KODU	AĞIR. CURUF ORANI (%)	ÖZGÜL ISI (J/kgK)	ISIL YAYINIM KATSAYISI $a.10^{-7}(m^2/s)$
ÇİMENTO BAĞLAYICISI	Ç1	10	1336	3.7
	Ç2	30	1263	3.6
	Ç3	50	1120	3.4
	Ç4	70	1140	3.3
KİREÇ BAĞLAYICISI	K1	10	1220	4.3
	K2	30	1130	4.1
	K3	50	1129	3.6
	K4	70	980	3.1
KİREÇ+ÇİMENTO BAĞLAYICISI	D1	10	1292	3.6
	D2	30	1185	3.5
	D3	50	1110	3.3
	D4	70	1050	3.2

5.5. GÖZENKLİLİK ORANININ HESAPLANMASI

Gözenekli malzemeler, gözenek içindeki durgun havanın ısı iletimine karşı direnç göstermesi nedeniyle yalıtım özelliğine sahiptirler. Gözeneklilik oranı arttıkça malzemenin ısı iletim katsayısı küçülmektedir. Bu nedenle malzemelerdeki gözeneklilik oranı (porozite) oldukça önem taşımaktadır.

Literatürlerde gözeneklilik oranı, gözenek hacminin toplam hacme oranı olarak verilmektedir (Biçer, 1990). Gözeneklilik oranını F , gözenek hacmini V_g katı hacmini V_k ve toplam hacmi V ile gösterirsek,

$$V_g + V_k = V \quad (5.9)$$

yazılabilir. (5.9) eşitliğinin iki tarafı toplam hacme bölünürse;

$$\frac{V_g}{V} + \frac{V_k}{V} = 1 \quad (5.10)$$

V_k/V yalnız bırakılıp, tanım gereği $V_g/V=F$ gözeneklilik oranı ifadesi kullanılırsa,

$$\frac{V_k}{V} = 1 - \frac{V_g}{V} = 1 - F \quad (5.11)$$

yazılır. Numunenin kütlesi:

$$M = \rho_k \cdot V_k = \rho_B \cdot V \quad (5.12)$$

(5.12) denklemi veya (5.13) denklemi şeklinde yazılabilir.

$$\frac{\rho_B}{\rho_k} = \frac{V_k}{V} \quad (5.13)$$

V_k/V oranı yerine, ρ_B/ρ_k oranı (5.11) nolu denklemde yerine konarak F

çekilirse,

$$\Phi = 1 - \frac{\rho_B}{\rho_k} \quad (5.14)$$

denklemini elde edilir. Gözenekli numune yoğunluğu (5.15) denklemini şeklindedir.

$$\rho_B = \frac{\rho_{\text{qöz.malz.}} \cdot V_{\text{qöz.malz.}} + \rho_{\text{Bağ}} \cdot V_{\text{Bağ}}}{V} \quad (5.15)$$

$V_k = V_{\text{qöz.malz.}} + V_{\text{Bağ}}$ ve $Z = V_{\text{qöz.malz.}}/V_k$ ifadeleri kullanılarak (5.15) denklemini (5.16) denklemini şeklinde yazılabilir.

$$\rho_B = \rho_{\text{qöz.malz.}} + (\rho_{\text{Bağ}} - \rho_{\text{qöz.malz.}}) \frac{V_k - V_{\text{qöz.malz. mat.}}}{V} \quad (5.16)$$

gerekli kısaltmalar yapılırsa, (5.17) denklemini elde edilir.

$$\rho_B = \rho_{\text{qöz.malz.}} + (\rho_{\text{Bağ}} - \rho_{\text{qöz.malz.}}) \frac{V_k}{V} (1-Z) \quad (5.17)$$

V_k/V değeri yerine (5.11) nolu denklemden karşılığı yazılarak (5.18) denklemini elde edilir.

$$\rho_B = \rho_{\text{qöz.malz.}} + (\rho_{\text{Bağ}} - \rho_{\text{qöz.malz.}}) (1-Z) (1-\Phi) \quad (5.18)$$

(5.18) denkleminde (F) çekilirse, porozite değerini veren (5.19) nolu denklemin bulunur.

$$\Phi = \frac{1 - \frac{\rho_{\text{qöz.malz.}} + (\rho_{\text{Bağ}} - \rho_{\text{qöz.malz.}}) (1-Z)}{\rho_k}}{1 - \frac{(\rho_{\text{Bağ}} - \rho_{\text{qöz.malz.}}) (1-Z)}{\rho_k}} \quad (5.19)$$

5.5.1. Gözeneklilik oranını veren denklem parametrelerinin tayini

-Curuf Matrisi Yoğunluk Tayini (ρ_k)

Ferrokrom curufunun matris (sıfır gözenekli hali) yoğunluğu Tablo 5.4. görüldüğü gibi hesaplanabilir.

Tablo 5.4 . Curuf Matrisi Yoğunluk Tayin Tablosu

Bileşen	Bileşen miktarı (%)	Bileşen Yoğunluğu (g/cm ³)	Bileşen mik.x Bil. yoğ. (g/cm ³)
SiO ₂	28.50	2.56	0.729
Al ₂ O ₃	33.70	4.0	1.348
MgO	31.80	3.6	1.144
Cr ₂ O ₃	3.70	6.9	0.255
Fe ₂ O ₃	0.90	5.2	0.046
CaO	0.50	3.3	0.016
			3.541

-Hacimsel ve Ağırlık Oranları İlişkisi (Z)

Hacimsel ve ağırlık oranları ilişkisi aşağıdaki denklem 5.20 ile hesaplanabilir (Biçer, 1990).

$$Z = \frac{\rho_{\text{bağ}}}{\rho_{\text{curuf}}} \cdot \frac{\frac{F}{1-F}}{1 + \frac{\rho_{\text{bağ}}}{\rho_{\text{curuf}}} \cdot \frac{F}{1-F}} \quad (5.20)$$

-Bağlayıcı ve Curuf Yoğunluğu ($\rho_{\text{bağ}}$, ρ_{curuf})

Elazığ Çimento Fabrikası Kimya Laboratuvarında yapılan deney sonucu aşağıdaki yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \rho_{\text{çimento}} &= 3.10 \text{ g/cm}^3 & \rho_{\text{curuf}} &= 1.6 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_{\text{kireç}} &= 2.27 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_{\text{çim.+kir.}} &= 2.51 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

5.5.2. Örnek bir numunenin gözeneklilik oranı hesabı

Hesaplamaya örnek olarak % 70 curuf ihtiva eden, çimento bağlayıcılı numunenin gözeneklilik oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

(5.20) denklemi kullanılarak curufun hacimsel oranı hesaplanır.

$$z = \frac{3.10}{1.6} \cdot \frac{0.70}{1-0.70} = 0.82$$

Hesaplamalar sonucu curufun hacimsel oranı % 82 ve bağlayıcının ise %18 olarak alınıp denklem (5.19)' da diğer parametrelerle kullanılırsa gözeneklilik oranı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\phi = \frac{1 - \frac{1.6 + (3.1 - 1.6) \cdot (1 - 0.82)}{3.541}}{1 - \frac{(3.10 - 1.6) \cdot (1 - 0.82)}{3.541}} = 0.51$$

Tablo 5.5. Numunelerin Gözeneklilik Oranı Değerleri

	MALZEME KODU	AĞIR. CURUF ORANI (%)	HACİMSEL CURUF ORANI (%)	GÖZENEKLİLİK ORANI (%)
ÇİMENTO BAĞLAYICISI	Ç1	10	18	30
	Ç2	30	45	41
	Ç3	50	65	46
	Ç4	70	82	51
KİREÇ BAĞLAYICISI	K1	10	14	46
	K2	30	38	48
	K3	50	58	50
	K4	70	76	52
KİREÇ+ÇİMENTO BAĞLAYICISI	D1	10	15	42
	D2	30	40	46
	D3	50	61	49
	D4	70	78	52

5.6. SU EMME VE KURUMA DENEYLERİ

5.6.1 Su emme deneyi

Bu deneyin amacı, su ile direkt temasta bulunan yapı malzemelerinde donma sonucu, bünyesindeki buz kristallerinin genişleme imkanı bulabileceği bir kuru hacim bulunabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu özellik malzemeye dona karşı güvence sağlamaktadır. Numuneler üzerinde yapılan su emme deneylerinde birbirinden farklı su emme oranları elde edilmiştir.

Kritik rutubet miktarı, hacmin yaklaşık % 30' udur. Bu rutubet miktarının altında, malzeme donsa da hasara uğramamaktadır. Rutubet miktarının % 30'un üstünde olması halinde ise malzemede don hasarı olacaktır. Bu hasarlar malzeme yüzeyinde tozlanma ve kabuk halinde dökülme, çatlama veya toplam kütlelerin dağılması şeklinde görülür. Bu bakımdan curuf kökenli yalıtım sıvası numuneleri bu deneye tabi tutulmuştur.

5.6.2. Deneyin yapılışı

Deney numuneleri $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak ağırlığın sabit olduğu görülünceye kadar kurutuldu. Bu şekilde değişmez ağırlığa getirilmiş numuneler üzerindeki tozlar, bir fırça ile temizlendikten sonra 0,1 duyarlılıkta tartılarak, kuru numune ağırlıkları G_k lar tespit edildi. Bu şekilde kurutulmuş numuneler, içinde oda sıcaklığında ve numune uzunluğunun $1/4'$ ü kadar derinlikte su bulunan kaba yerleştirildi. Bir saatin sonunda numuneler $1/2$ sine kadar , ikinci saatin sonunda da $3/4'$ ü su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edildi.

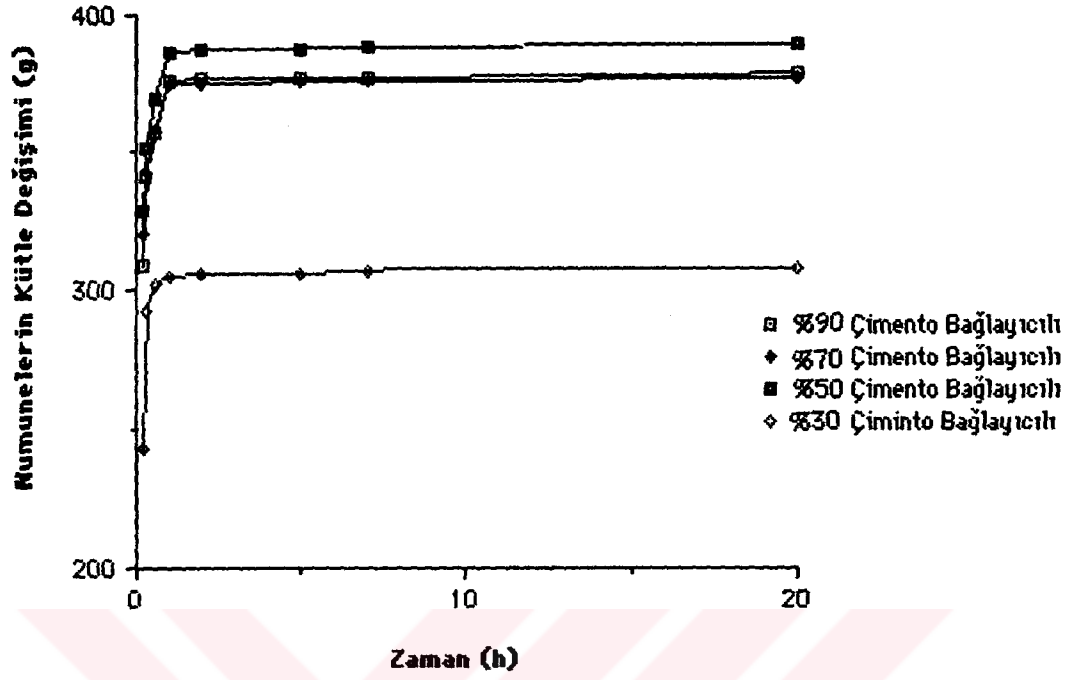
Başlangıçtan 24 saat sonra da numuneler tamamen su içinde kalacak şekilde kaba su ilave edildi. Bu durumda 24 saat bekletildikten sonra sudan çıkarılan numuneler ıslatılarak sıkılmış bir bez parçası ile silinip bekletilmeden 0,1- 0,5 duyarlılıktaki terazide tartıldı ve su emdirilmiş ağırlıklar bulundu (Gd). Bu iki ağırlığın oranı alınarak su emme yüzdesi aşağıdaki şekilde tesbit edilmiştir (T.S.E. 388,415,Vd). Su emme oranı;

$$S.E = \frac{Gd - Gk}{Gk} \cdot 100$$

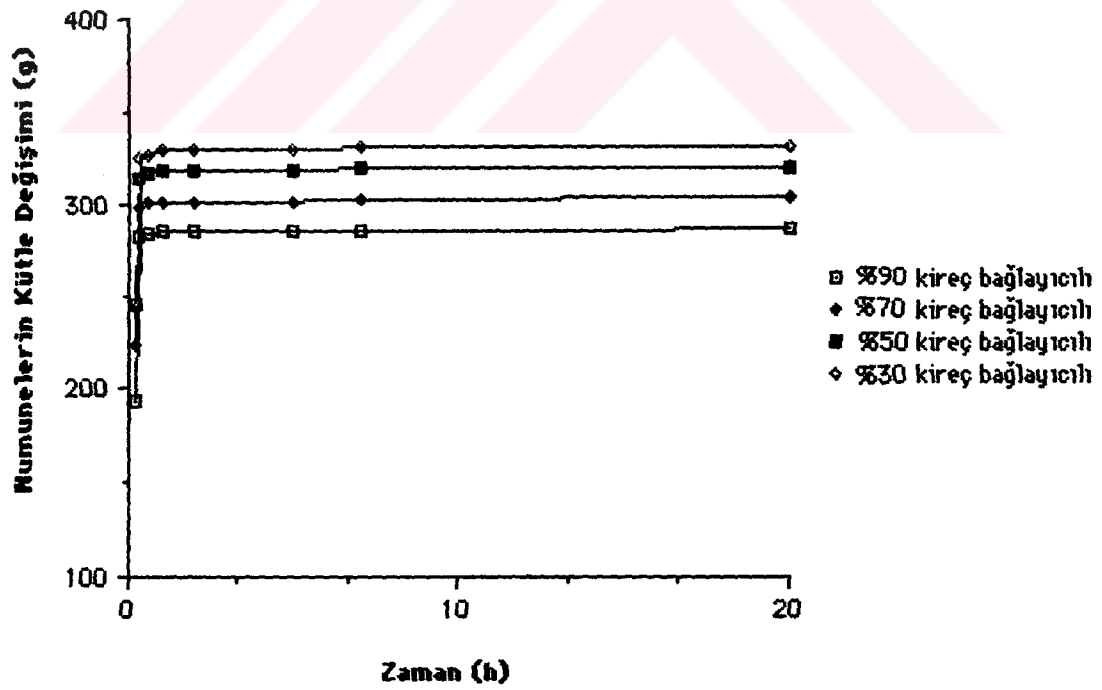
Formülü ile, (%) olarak hesaplandı. Deney sonuçları Tablo 5.6' da verilmiş ve sonuçlar ayrıca grafiklere aktarılmıştır. (Şekil 5.8, 5.9 , 5.10)

Tablo 3.6. Su Emme Deneş Tartı Sonuçları

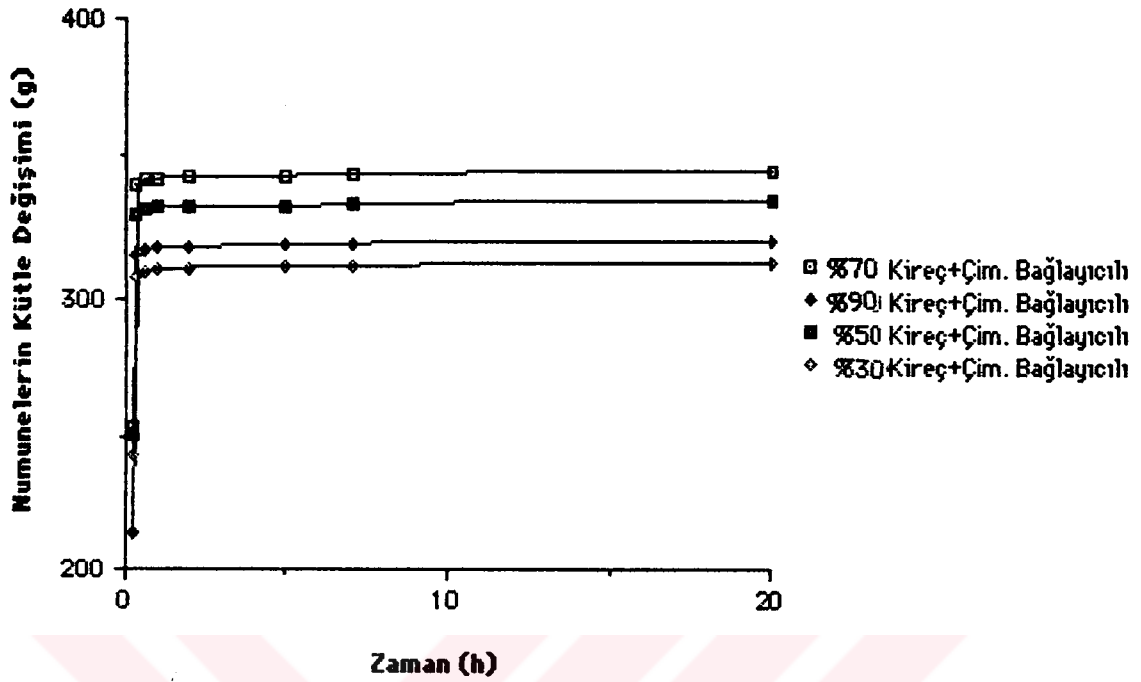
Curuf %	Çimento Bağlayıcı Numune Ağırıkları (g)				Kireç + Çimento Bağlayıcı Numune Ağırıkları (g)				Kireç Bağlayıcı Numune Ağırıkları (g)			
	10	30	50	70	10	30	50	70	10	30	50	70
Süre	10	30	50	70	10	30	50	70	10	30	50	70
Etüv Çıkışı	308,5	320	328	243,5	213,5	254	250,5	242,8	193	223	245	246,2
1/3 Saat	341	342,5	350,8	292	314,8	339,5	329,5	307,4	283	298,2	314	318
2/3 Saat	357	358,1	369,8	301,5	317	342,6	331	309,5	284	300,5	316,8	327,5
1. Saat	376	374,8	386,5	306,5	317,5	342	332	310	286,5	301	318	329,5
2. Saat	377	376	387,5	305	318	342,6	332	310,5	284,5	301,5	318,5	330
5. Saat	377,2	375,8	388	305,3	318,5	343	332,2	310,8	284,6	301,6	318,7	330
7. Saat	377,3	376	388,5	306,5	319	343,5	332,9	311,2	285	302,2	319	330,5
24 Saat	378,7	377	389,2	307,5	320	344,5	334	312	286	303,5	320	331
Su Emme Oranı %	22,75	17,8	18,6	26,2	49,8	35,6	33,3	28,5	48,1	36	30,6	34,4



Şekil 5.8. Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri



Şekil 5.9 Kireç Bağlayıcılı Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri



Şekil 5.10 Kireç+Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Su Emme Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri.

Bu deney sonucunda numunelerin su emme miktarı değişik oranlarda çıkmıştır. Çimento bağlayıcı numunelerin su emme oranı %30 'un altında çıkmıştır. Diğer Kireç ve Kireç+Çimento bağlayıcılı numunelerin su emme oranı ise %30'un üzerinde çıkmıştır. Ayrıca kireç bağlayıcı numunelerde lokal çatlaklar ve kırılmalar görülmüştür.

5.6.3.Kuruma hızı deneyi

Kuruma hızı deneyinde amaç, numunelerin teneffüs kabiliyetinin araştırılmasıdır.

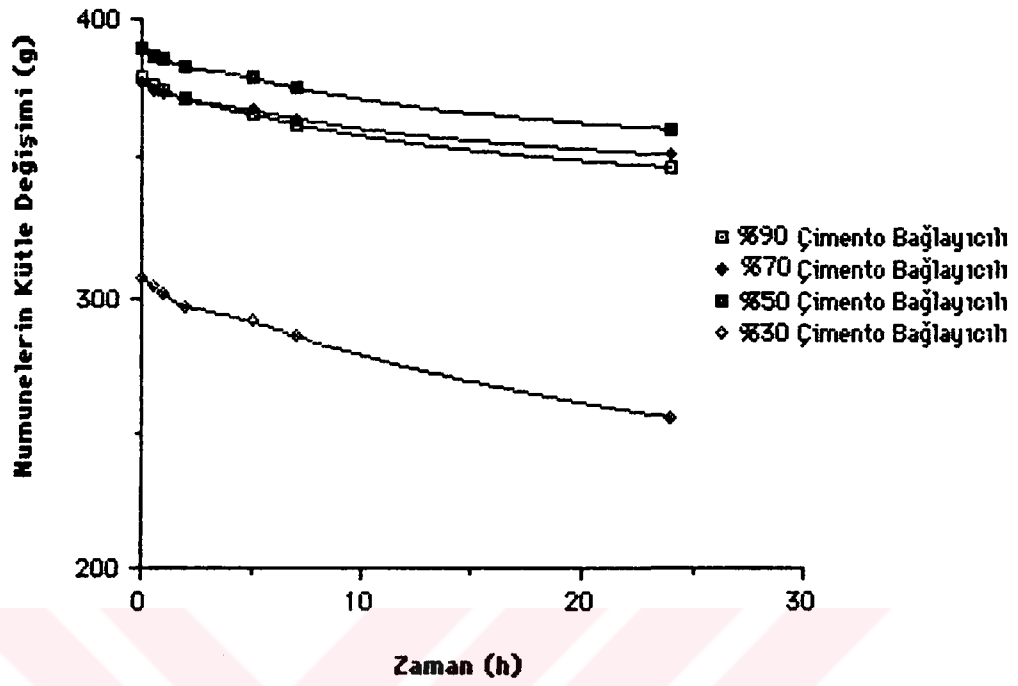
Kuruma işlemi malzeme yüzeyinden buharlaşma yolu ile olduğundan burada malzeme derinliğinden yüzeğe kılcal kanallar vasıtasıyla suyun

hareketi söz konusudur. Bu bakımdan hızlı su emme özelliğine sahip malzemeler aynı şekilde hızlı kuruma, yavaş kılcal su emme özelliğine sahip malzemelerde yavaş kuruma özelliği gösterirler (T.S.E. 704,705). Yani buhar geçirgenlik direnci vasıtasıyla rutubet bünyeden atılarak kurumaktadır. 24 saat su kabı içerisinde bekletilen numuneler sudan çıkarılıp ıslak bir bezle silindikten sonra 20 °C oda sıcaklığında doğal kurutmaya bırakılmıştır. Kuruma hızı ölçümleri oda sıcaklığında doğal kuruma sonucu elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.7' de verilmiş ve Şekil 5.11 , 5.12 , 5.13' de grafiklere aktarılmıştır.

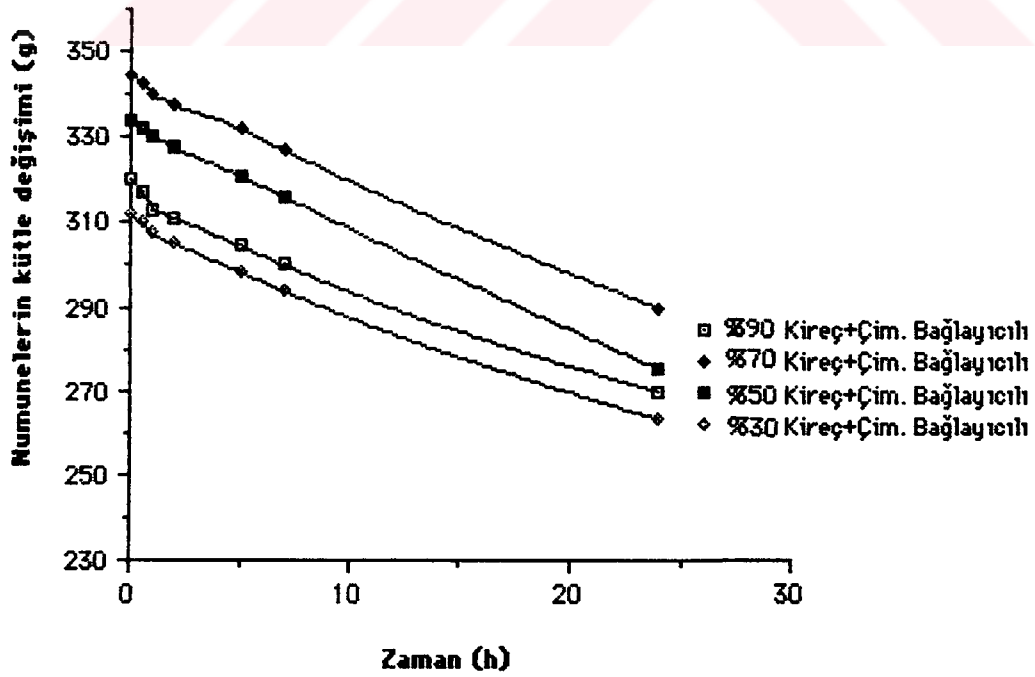


Tablo 5.7. Kuruma Hızı Deneysel Sonuçları

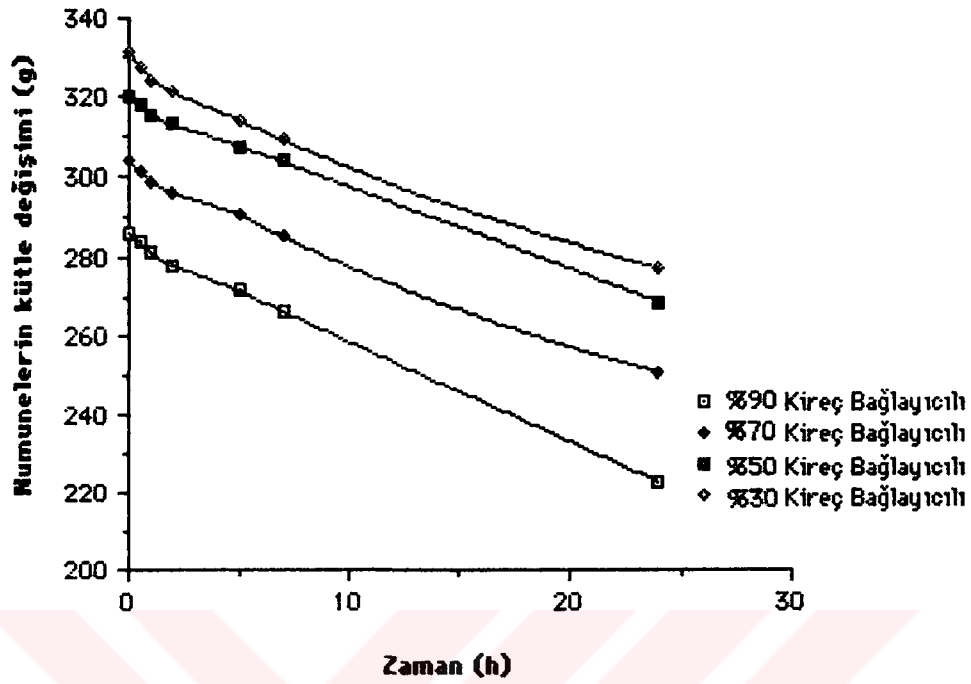
Curuf %	Çimento Bağlayıcılı Numune Ağırlıkları (g)				Kireç + Çimento Bağlayıcılı Numune Ağırlıkları (g)				Kireç Bağlayıcılı Numune Ağırlıkları (g)			
	10	30	50	70	10	30	50	70	10	30	50	70
Süre												
Bu Kabi Çıkışı	378,7	377	389,2	307,5	320	344,5	334	312	286	303,5	320	331
1/2 Saat	376	374,5	387	304	317	342,5	332	310	283,5	301	318	327,5
1. Saat	373,8	373	385,5	301,5	313	340	330	307,5	281	298,5	315,5	324
2. Saat	371	371	383	297	311	337,5	327,5	305	278	296	313	321
5. Saat	365,5	367	378,5	291,5	304,5	332	321	298,5	271,5	290,5	307,5	314
7. Saat	362	364	375	286	300	327	316	294	266,5	285	303,5	309
24 Saat	364,5	351	360	255,5	270	290	275,5	263,5	223	251	268,5	277
Kuruma Hızı (9 / 24 Saat)	8,5	6,89	7,5	16,9	15,6	15,82	17,5	15,5	22,02	17,2	16,09	16,3



Şekil 5.11 Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Kuruma Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri



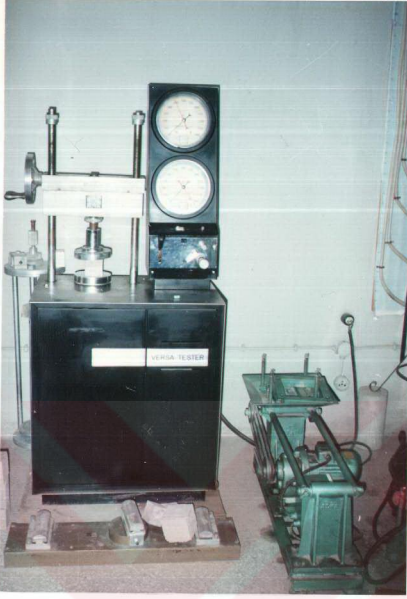
Şekil 5.12 Kireç+Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Kuruma Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri



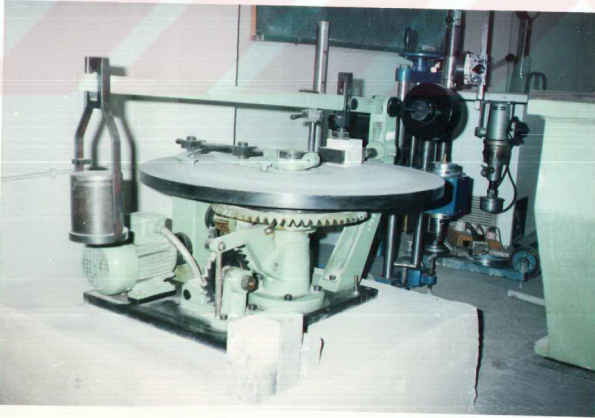
Şekil 5.13 Kireç Bağlayıcılı Numunelerin Kuruma Deneyinde Zamana Bağlı Kütle Değişimleri

5.7 Mekanik Dayanım

Numuneler üzerinde laboratuarda TS 699 standardına uygun basınç ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Yine, yapılan sürtünmeden dolayı aşınma deneylerinde (Böhme) 88,176,264 ve 362 d/dak devirleri için aşınma kayıpları her numune için tespit edilerek Tablo 5.8, 5.9' da topluca gösterilmiştir. Yalnız kireç bağlayıcılı numunelere aşınma deneyi uygulanamamıştır.



Şekil 5.14 Basma Deney Cihazı.



Şekil 5.15 Aşınma Deney Cihazı.

Tablo 5.8. Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Aşınma Kaybı Deneş Sonuçları.

NUMUNE NO	NUMUNE BOYUTLARI	Numunelerin beşlangıçtaki ağırlıkları (g)	DEVİR SAYILARI (d/dak)				AŞINMA KAYBI (kg/cm ³)
			88	176	264	362	
Ç1	71x71x71	636.3	635.2	634.7	634.5	634	0.0064
Ç2	71x71x71	635.2	633.8	633.1	632	630.5	0.013
Ç3	71x71x71	682.3	681.3	680.5	680	679.4	0.0081
Ç4	71x71x71	502.3	501.8	496.6	495.3	493.5	0.02

Tablo 5.9. Kireç + Çimento Bağlayıcılı Numunelerin Aşınma Kaybı Denei Sonuçları

NUMUNE NO	NUMUNE BOYUTLARI	Numunelerin başlangıçtaki eğirlikleri (g)	DEVİR SAYILARI (d/dak)				AŞINMA KAYBI (kg/cm ³)
			88	176	264	362	
D1	71x71x71	518	517	515	514	513	0.01
D2	71x71x71	552.5	551.6	551	550.8	550	0.0069
D3	71x71x71	534.1	533.5	523.7	527.8	527	0.01
D4	71x71x71	459	457	452.1	450.5	448.2	0.03

Tablo 5.10 Basma Mukavemeti Deneş Sonuçları.

SIRA NO	BAĞLAYICI YÜZDESİ (%)	BASMA MUKAVEMETİ (kp/cm ²)	
ÇİMENTO BAĞLAYICISI	Ç1	10	48.7
	Ç2	30	28.5
	Ç3	50	26.4
	Ç4	70	4.1
KİREÇ BAĞLAYICISI	K1	10	0.6
	K2	30	0.4
	K3	50	0.3
	K4	70	0.2
KİREÇ+ÇİMENTO BAĞLAYICISI	D1	10	7.85
	D2	30	12.39
	D3	50	10.57
	D4	70	1.98

BÖLÜM 6

6.1. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elazığ Ferrochrom curufunun yalıtım sıvası tipi bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

1- Ülkemizde inşaat malzemelerine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Curuflardan yalıtım malzemesi olarak yararlanılması çimento tüketimini azaltacağı gibi bu curufların depolanması, çevreye olan istenmeyen etkileri ve çevre kirliliği sorunlarına çözüm getirecektir.

2- Yalıtım sıvası olarak çimento, kireç veya çimento + kireç bağlayıcıların 105 °C sıcaklığa kadar rahatlıkla kullanılabilineceği ve bu sıcaklık sınırına kadar malzemede ısınmadan dolayı herhangi bir bozulma olmayacağı tesbit edilmiştir.

3- Ferrochrom curufu beton agregası olarak kullanıldığında mekanik dayanım yönünden olumsuz özellikleri olmasına karşılık, bu olumsuzlukların düşük oranlarda olduğu kabul edilebilir. Sınırlarda mekanik dayanımlı beton yapımında kullanılabilir

4- Ferrochrom curufu yalıtkan özelliğe sahiptir. Curufta yüksek oranda MgO ve Al₂O₃ bulunmaktadır. Malzemenin bu özelliğinden hareketle değişik yapı malzemeleri elde edilmesi konusunda çalışmalar yapılabilir. Örneğin Refrakter Malzemeler v.s

5- Curufu çimento inceliğinde öğütmek mümkündür. Ayrıca değişik oranlarda hazırlanıp deneye tabi tutulan numunelerde anormal hacim genişmesi ile karşılaşılmamıştır.

6- Ferrochrom curufu ile üretilen sıva tipi yapı malzemelerinde

bağlayıcı olarak çimento kullanıldığında, su emme miktarı T.S.E standart üst limit değerinden (% 30) düşük olduğu için bu sıvaların 0 °C nin altındaki sıcaklıklarda ve su ile direkt temasın bulunduğu yerlerde kullanılması uygundur. Bu nedenle dış sıvalarda kullanılması mümkündür . Kireç ve kireç + çimento bağlayıcı kullanılarak elde edilen yapı malzemelerinde aynı durum söz konusu değildir. Deneyler sonunda bu malzemelerin su emme miktarı , standart üst limit değerinden (%30) değerinden fazla olduğu için bu sıvaların 0 °C nin altındaki sıcaklıklarda ve su ile direk temasın bulunduğu yerlerde kullanılmazlar. Örneğin (dış sıvalarda)

7- Bir curufun çimento üretiminde kullanılabilmesi için; kimyasal analizinde bazı koşulları sağlaması gerekir. Örneğin bunlardan biri TS 20 de verilen aşağıdaki kriteriyumdur.

$$\frac{m_{CaO} + m_{MgO}}{m_{SiO_2}} > 1$$

olmalıdır. Bu oran Elazığ Ferrokrom curufu için :

$$\frac{0,50 + 31,80}{28,50} > 1,13$$

elde edilmiştir. Bu sonuca göre Elazığ Ferrokrom curufu TS 20' ye göre kimyasal bileşimi bakımından gerekli koşulu sağlamıştır.

İç yapısı bakımından; curufun içerdiği maddeler ancak amorf yapıya veya camı yapıya sahip olduğu zaman bağlayıcı özelliğine sahiptir. Yüksek fırından çıkan curuf, kendi halinde soğumaya bırakıldığı takdirde kristal yapılu cisimler meydana gelir. Böyle bir durumda curuf herhangi bir şekilde bağlayıcı madde özelliği göstermez. Bu sebeple curufun bağlayıcı madde olarak kullanılması isteniyorsa bunun için çok hızlı bir şekilde, yani ani bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Ferrokrom fabrikasının "A" fırınından çıkan curuflar kendi halinde soğuma "B" fırından ise ani soğutma yapılmaktadır.

Ani soğutma sonucunda atomlar , kristal yapıyı oluşturmak için gerekli zamanı bulamayarak düzensiz bir sisteme göre yer alacak ve böylelikle amorf bir yapı meydana gelecektir. Ani soğutmada, yüksek fırından hüzmeler halinde çıkarılan curuf su dolu geniş havuzlara sevk edilmesi suretiyle sağlanır. Curufa su verilmesi sonucunda tane boyutu 1-7 mm civarında olur. Ancak bu şekilde curuf, bağlayıcı özelliği iyi duruma getirilebilir. Yapılan incelemeler sonucu 1 ton curuf için yaklaşık 1 ton suyun kullanılması gerekmektedir.

Elazığ Ferrokrom fabrikasının "B" ark direnç fırınından çıkan curuflar ani soğutma işlemine tabi tutulduğundan çimentoda puzolonik maddesi olarak kullanılabilirler. Ayrıca fabrikanın "A" ark direnç fırınından çıkan curuflar da ani soğutma işlemine tabi tutulmasıyla amorf yapıda malzeme elde edilecektir.

8- Farklı curuf oranlarına göre hazırlanan numunelerden ısı iletim katsayısı %70 curuflu olanlarda en düşük, %10 curuflu olanlarda ise yüksek ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Tablolardan da görüldüğü gibi curuf miktarı artarken ısı iletim katsayısı küçülmektedir (Tablo 5.1, 5.2). Bu özellik, ferrokrom curufu bünyesindeki küçük gözeneklerin ısı iletimine direnç gösterdiğini ve malzemeye yalıtkanlık özelliği kazandırdığını

göstermektedir.

Normal harç ve betonlar için ısı iletim katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Değerlerin Tablo 5.2 ile karşılaştırılmasında, ferrokrom curufuna ait ısı iletim katsayısının bu değerlerin altında kaldığı görülmektedir (Biçer 1990).

<u>Yoğunluk(g/cm³)</u>	<u>Malzeme</u>	<u>Isı İletim Katsayısı(W/mK)</u>
0.8	izobeton	0.40
0.3	izobeton	0.104
2.1	grobeton	0.81-1.4
2.272	beton	1.512
1.6	kaba dış sıva	0.930
1.68	iç sıva harcı	0.779

KAYNAKLAR

ARPACI V., **Conduction Heat Transfer**, Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1966.

BİÇER, Y., PIHTILI K., AYHAN, T. "Gözenekli Katı Malzemelerde Isıl İletkenlik Hesabı İçin Kuramsal Bir Model" **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi** Cilt 14, Sayı 4, Sayfa 25-30, 1991.

BİÇER, Y., PIHTILI, K., AYHAN, T. "Termik Santral Uçucu Külleri İçeren Yalıtım Sıvası Üzerine Bir Araştırma" **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi** Cilt 15, Sayı 3/4, Sayfa 24-29, 1992.

BİÇER, Y., PEHLİVAN, D., TANYILDIZI, V., YILDIRIM, Ş. "Fırat Havzasında Bulunan Doğal Taşların Bazı Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması" **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 1993, Adana (Kabul edilmiş olup henüz yayınlanmamıştır)

BİÇER, Y., Termik Santral Uçucu Küllerenin çeşitli Bağlayıcı Kombinasyonlarında Isıl iletim özelliklerinin Analizi ve Yalıtım Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, **Doktora Çalışması**, F.Ü., Elazığ, 1990.

DENKO, Showa "**Shotherm Operation manual No:125-2**" K.K. Instrument Products Departmen , 13-9, Tokya , 105 Japon

DENKO, Showa Shotherm Operation Manual No 125-2. K.K. Instrument Products Department, 13-9, Shiba Daimon, Tokyo, 105, Japan.

KAKAÇ, Sadık "Isı İletimi " 1987, Ankara

KUBRİK, B., I., " Effects of Thermal and Physical Properties of Slag and Coefficients of Thermal Conductivity of Mould Walls on Heattransfer in Mould", V. 17, p. 573-575, Dec 1987.

KUZENTSOV, A.I., KLİMUSHKİN, A. N., LHECHUKOV, V., Yu, " Study of the Free reability of granulated Slags", **English Translation of metalurg** v. 32, p 241-242, 1989.

LUIKOV, A.V., SHASHKOV, A.G., VASİLİEV, L., L., "thermal conductivity of Porous Systems", **Heat mass transfer**, Vol 11, pp. 117-141, 1968.

OELSEN, W., SCHÜRMAN, E. "Schlackenkunde", **Hütte**, Taschenbuch Für Eisenhüttenleute, Verlag Stahleisen m.b.H, Düsseldorf 1961, s:177

ÖZİŞİK M. N., **Heat Transfer-A Basic Approach**, Mc Graw Hill, 1985.

SAQUSA, T., KAMATA, K., " Thermal Condivities of Porous Solids" **Heat Transfer**, Jap. Res. 3, pp 47-52, 1974.

TOKSOY, M. "Endüstriyel Malzemelerin Isıl İletkenlik Katsayıları"
T.M.M.O. Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 347, pp 12-15,
1988.

T.S.E (704,705)

TS 699 "Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Yöntemleri", T.S.E.,
Ankara, 1978

TSE (388,415,482,639,640,704,705,825)

WEY, M., Y., DEGREVE, J., Van rompay, P., " **Simulation of a
Slagging Incineration Process**", Vol 15 , p 297-304, May
1991.

WONCHALEN, E., P., and WYNNYCKYJ, J. R., " The Effective Thermal
Conductivity of Solids With Complex Pores in the Transition and
Knudsen Regios", **The Canadian Journal of Chemical
Engineering**, Vol. 62, pp. 719-722, 1984.

WYSNIAUSKAS, V. V., ZIKAS, A. A., " Determination of the Thermal
Conductivity of Ceramics by the Hot-Wire Technique" **Heat
transfer Soviet Research**, vol 20, No 1, pp 137-142, 1988.

Yapı Malzeme ve Elemanları, Özellikleri-Kullanma Yöntemleri, **Ytong**,
İstanbul, 1985.

YILDIRIM, M., M., " Metalurjik Katı Artıklardan Yararlanabilme Olanakları" **T.M.M.O.B Metalurji mühendisleri Odası**, Sayı 49, sayfa 12-15, 1987.

YILDIRIM, M., M., " **Malzeme Bilgisi II**", **Üretim teknolojisi**, F.Ü. Müh. Fak. Basımevi, F.Ü. Yayınları, No:64, 42-47, 1981.

YILDIRIM, M., M., " Yüksek karbonlu Ferrokrom ve Teknolojik Üretimi" **T.M.M.O.B Metalurji Mühendisleri Odası**, sayı 32, Sayfa 17-21, Mayıs 1984.