

21965

KARBOTERMİK FERROBOR ÜRETİM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ
Y.Müh. Onuralp YÜCEL
21965

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 HAZİRAN 1992

Tezin Savunulduğu Tarih : 4 EYLÜL 1992

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Okan ADDEMİR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Adnan TEKİN
Prof.Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU

EYLÜL 1992

ÖNSÖZ

Doktora tezimin yönetimini üstlenen, maddi ve manevi her türlü desteği vererek çalışmalarımın tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Prof.Dr. Okan ADDEMİR'e, bu çalışmanın konusunu ortaya koyan ve finansmanında önemli katkıları olan Prof.Dr. Adnan TEKİN'e teşekkür ederim.

Eleştirileriyle çalışmalarımın olumlu yönde gelişmesine katkıda bulunan Sayın hocam Prof.Dr. Feridun DİKEÇ ve Doç.Dr. Ercan AÇMA'ya, kimyasal analizleri büyük bir titizlik ve özveri ile yapan Kim. Müh. Mahpare DEMİRKESEN'e, X-ışınları ve SEM incelemelerinde yardımlarını aldığım Tek. Turgay GÖNÜL ve Hüseyin SEZER'e teşekkür ederim.

Ark fırını teçhizatının temini ve kullanımında yardımcı olan Nevzat ÖREN'e ergitme deneylerinde büyük özverili yardımlarını aldığım, Met.Yük.Müh. Filiz ÇINAR'a, Met.Müh. Bülent ŞİRİN'e ve Met.Müh. İzzet ALKIN'a, bilgisayar programının yazılmasında bilgilerine danıştığım Met.Müh. Erkan KOCAŞ ve Met.Yük.Müh. Oğuz TOSYALI'ya teşekkür ederim.

Bu çalışma Devlet Planlama Teşkilatı ve Etibank'ın sağladığı maddi destekle yürütülmüştür. Bu kuruluşların yetkililerine teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında gösterdikleri sabır ve verdikleri destek için eşim Çiğdem YÜCEL ve aileme teşekkür ederim.

Laboratuvarlarımızın teçhizatlandırılmasına ve yetişmemizde büyük emeği geçen Sayın Hocam Prof.Dr. Fuat Yavuz BOR'u bu vesile ile rahmetle anarım.

İstanbul, 5 Haziran 1992

Yük.Müh. Onuralp YÜCEL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vii
SUMMARY.....	viii
BÖLÜM 1. GİRİŞ ve AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2. FERROBORUN KULLANIM ALANLARI, TİCARİ ŞEKİLLERİ, FİZİKSEL ve KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.	4
2.1. Ferrobor Kullanım Alanları.....	4
2.2. Ferroborun Ticari Şekilleri.....	6
2.3. Ferroborun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	7
BÖLÜM 3. FERROBOR ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	8
3.1. Aluminotermik Yöntem.....	8
3.2. Silikotermik Yöntem.....	11
3.3. Karbotermik Yöntem.....	12
3.3.1. Şaft Fırınında Karbotermik Ferrobor Üretimi.....	12
3.3.1.1. Ön Redüksiyonla Ferrobor Üretimi	13
3.3.1.2. Direkt Redüksiyonla Ferrobor Üretimi	13
3.3.2. Ark Fırınında Ferrobor Üretimi.....	14
3.3.2.1. Ön Redüksiyonla Ferrobor Üre- timi.....	15
3.3.2.2. Ark Fırınında Doğrudan Ferrobor Üretim.....	15
3.3.2.3. Ergitme İşlemlerinde Daldırmalı Tip Doğru Akım Elektrik Ark Fırını Kullanımının Avantajları.....	17

BÖLÜM 4. TEORİK İNCELEME.....	18
4.1. Demir ve Bor Oksitlerin Redüklenme Koşullarının Teorik İncelenmesi.....	18
4.1.1. Termodinamik İnceleme.....	18
4.1.1.1. Borik Asitten Bor Oksite Geçiş Şartlarının Belirlenmesi.....	20
4.1.2. Kinetik İnceleme.....	20
4.2. Alaşım ve Karbür Oluşum Şartlarının Teorik İncelenmesi.....	22
4.3. Demir-Bor Denge Diyagramı, Çözünürlülük ve Aktiviteler.....	23
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
5.1. Kullanılan Hammadde, Cihazlar ve Aletler.	27
5.1.1. Hammaddeler.....	27
5.1.2. Cihaz ve Aletler.....	29
5.2. Deneylerin Yapılışı.....	34
5.2.1. Tammann Fırınında Redükleyici Ergitme Deneyleri.....	34
5.2.2. Ark Fırınında Redükleyici Ergitme Deneyleri.....	35
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI.....	36
6.1. Tammann Fırınında Redükleyici Ergitme Deney Sonuçları.....	36
6.2. Ark Fırınında Redükleyici Ergitme Deney Sonuçları.....	38

6.2.1. Odun Kömürü İlavesinin Ferrobordaki Bor ve Silisyum Konsantrasyonlarına Etkisi.....	40
6.2.1.1. Odun Kömürü İlavesinin Ferrobordaki Bor Konsantrasyonuna Etkisi.....	40
6.2.1.2. Odun Kömürü İlavesinin Ferrobordaki Silisyum Konsantrasyonuna Etkisi.....	42
6.2.2. Odun Kömürü İlavesinin Empüritelerin Davranışına Etkisi.....	43
6.2.3. Elektriksel Karakteristikler.....	49
6.2.3.1. Voltaj Değerindeki Değişimler..	49
6.2.3.2. Akım Değerindeki Değişimler....	51
6.2.3.3. Reel Güç Değerindeki Değişimler	53
6.2.3.4. Direnç Değerindeki Değişimler..	56
6.2.4. Elektrod Hareketi ve Tüketimi.....	56
6.2.5. Fırın Sütununda ve Üst Elektrod Altında Gelişen Olaylar.....	59
6.2.5.1. X-Işınları Analizleri İle Sektörlerin Karakterizasyonu.....	60
6.2.5.2. Sektörlerde Fe, B, Si, C Elementlerinin Dağılımı.....	65
BÖLÜM 7. SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....	68
7.1. Ferroborda Bor Konsantrasyonları İle Enerji Tüketim Değerleri Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi.....	68
7.2. Hammadde Seçiminin Etkisinin İrdelenmesi.	71
7.3. Fırın Potası İçersinde Ferrobord Oluşum Mekanizmasının İrdelenmesi.....	74
7.4. Elektriksel Karakteristiklerin İrdelenmesi	79

Sayfa

BÖLÜM 8. GENEL SONUÇLAR.....	87
ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	93
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	130



ÖZET

Ferrobör elektrik/elektronik sanayinde yumuşak (trafo saçı) ve sert magnetik malzemeler üretiminde ve çeliğin alaşımlandırılmasında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada borik asit, demir oksit, odun kömürü ve tahta talaşının farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen şarj harmanı, 40 kg şarj alabilen 100 kVA'lık, tek fazlı, doğru akım elektrik ark fırınına beslenerek farklı konsantrasyonlarda ferrobör üretilmiştir. Deneylerde bulunan elektriksel değerler, bilgisayar programı ve data toplama sistemi kullanılarak okunmuş ve üretim parametrelerinin optimizasyonunda kullanılmıştır.

Küçük çapta yapılan deneyler konsantrasyon ve verimin şaft tipi bir fırında arttırılabileceğini göstermiştir. Şarj içinde H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının ve sabit karbon miktarının arttırılması ferroborda bor konsantrasyonunu arttırırken, karbon konsantrasyonunu ve enerji tüketimini azaltmıştır. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, sabit karbon miktarının % 12.25 olduğu şarj bileşimi ile belirlenen optimum şartlarda, % 18 B, % 0.2 C içeren alaşım 35.1 kWh/kgB enerji tüketim değeriyle üretilirken, bor kaybı sadece % 1.7 olarak saptanmıştır. Şarjdaki redükleyici madde miktarının aşırı arttırılması (% 14.88 sabit karbon), fırında metal yerine ergimemiş birikintinin oluşmasına sebep olmuştur. % 16-18 B içeren ferrobör üretiminde grafit elektrod ortalama 120.5 g/kg metal miktarında tüketilmiştir.

Fırın içinde kalan sinter fazının X-ışınları ve kimyasal analizleri ferrobör oluşumunun demir borat bileşikleri içeren ve elektrodun ark yaptığı bölgede toplanan sıg bir çuruf fazı üzerinden olduğunu göstermiştir.

Seçilen demir oksid ve odun kömürü cinsi ferrobör kalitesini ve üretim rejimini doğrudan etkilemiştir.

Yaklaşık 40 kW güç kullanılarak, fırına 570 kW. m⁻² güç yoğunluğunun uygulandığı deneylerde, voltaj 20-35 V, akım 1400-2200 A arasında salınmış, kısa devre 5-8 V arasında oluşmuştur. Demir boratlı çurufun ortalama direnci 0.02 ohm olarak ölçülürken spesifik iletkenliği yaklaşık 0.8 ohm⁻¹.cm⁻¹ olarak saptanmıştır.

THE OPTIMIZATION OF PARAMETERS FOR THE CARBOTHERMIC PRODUCTION OF FERROBORON

SUMMARY

Ferroboron is a master alloy used in the manufacture of metallic glass and magnetic materials, and in the alloying of steel. For decades, ferroboron has been utilized to increase the mechanical properties of steels. Recently, owing to improvements in the magnetic properties of transformers sheets, ferroboron has become important role the electrical sector. The replacement of conventional silicon steel by ferroboron has resulted in reduction of one-third in the core losses of transformers, making a big impact on energy conservation.

Since elemental boron is an expensive chemical, boron is usually introduced into ferroboron in the form of cheaper compounds such as H_3BO_3 , B_2O_3 , etc.

There are three main process for production of ferroboron aluminothermic, silicothermic and carbothermic methods.

In conventional aluminothermic processing during the reduction of a mixture of boron oxide and iron oxide with aluminium, 1 to 6 per cent aluminium is left in the alloy. The presence of aluminium prevents the use of this product in the production of metallic glass. Silicothermic processing also couldn't find a large using.

The carbothermic method of ferroboron production yields a better product, which satisfies the impurity limits set by the metallic glass industry. There are four different carbothermic processes listed in literature.

These are;

- i) Smelting in a shaft furnace with a preliminarily reducing,
- ii) Smelting in a shaft furnace with a direct reduction,
- iii) Smelting in an arc furnace with preliminarily reducing,

iv) Smelting in an are furnace with direct reduction.

Hamada and his co-workers carried out their ferroboron studies in a vertical-shaft furnace Boron oxide and boric acid were reduced in the presence of carbon, the aim being the direct utilization of the alloy in production of metallic glass. The product obtained contained 3 % boron, 3 % silicon, and 3 % carbon. To avoid decarburization, an alloy containing 10 % boron, 11 to 13 % silicon, and 0,3 % carbon was produced. This alloy was introduced into liquid steel for the production of metallic glass.

Allied Corporation's process includes preheating and prereduction in an are furnace. The reagents used are boric acid, iron (or iron oxide), coal, and sugar, all of which are introduced at set ratios in a continuous operation. It is reported that the product contains 13,6 to 15,4 % boron and 0,3 % carbon, with a boron yield in the alloy of 68 to 86 %.

In a study conducted by Mitsui Mining & Smelting Co., an alloy containing 10,5 % boron was produced, with a boron yield of 76 to 82 % and an energy consumption of 44 kWh per kilogram of boron.

Seki and Hiromoto introduced 90 % of the stoichiometric carbon and produced an alloy containing 16,5 to 21,4 % boron. However, there was difficulty in the production of ferroboron in that an unsmelted deposit formed under the electrode.

Hahn and his co-workers developed another method of carbothermic reduction in an electric submerged-are furnace. In that study, a mixture of wood chips, charcoal, boric acid, and iron oxide was reduced to produce an alloy containing 18 to 20 % boron and 0,02 % carbon. The process had a boron conversion rate of 95 % and an energy consumption of 35,5 kWh per kilogram of boron.

Thermodynamic consideration of the reduction of Fe_2O_3 and B_2O_3 in the presence of carbon shows that the reduction sequence with solid carbon includes Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO , B_2O_3 (g), and B_2O_3 (l). Iron is reduced prior to boron, and the reduction of gaseous boron starts at 1650 K. The liquid-phase reduction starts at 1900 K. Under these conditions, vapour pressure of B_2O_3 is 10 mm Hg. For this reason, it can be concluded that the reduction of boric oxide with solid carbon take place preferentially in the gaseous phase. The

affinity of boron for iron is also higher than its affinity for carbon. Consequently, at a high iron concentration, the possibility of the formation of ferroboration is higher than the possible formation of boron carbide.

In that study ferroboration alloy was produced from boric acid, hematite, charcoal and wood chips. The mixture was smelted in a 100 kVA monophase DC arc furnace. The process was optimized, with the charge composition, applied voltage and current, resistance, energy and electrode consumption, and physical conditions of furnace as parameters. The boric acid used was 99.5 % pure and contained Fe, Si, Mg, Ca and Na as impurities. The hematites were pigment grade and ore, which contained Si, Cu, Mn, Ni and Co as impurities. The particle sizes of the charcoal and wood chips were 1 to 3 mm and 5 to 15 mm respectively.

The laboratory-type monophase resistant arc furnace has a 40 kg charge capacity. The smelting process was conducted with a d.c. power supply of 100 kVA. The temperature profile was monitored by the use of four thermocouples located in the furnace lining. The inner surface of the furnace was lined with graphite and, to provide the necessary heat insulation, refractory bricks were used as a backing for the graphite. The voltage and current readings were fed to a computer-control system for the acquisition of data that were used in the control of the position of the upper electrode.

The charcoal and wood chips in the selected ratios of H_3BO_3 and Fe_2O_3 were mixed in a rotary mixer for 2 hours, and 100 kg of the mixture was fed to the open heated arc. After 1 to 4 hours from start of the experimental run, the liquid metal was removed from the tap hole at the bottom and the arc was stopped. The furnace was left to cool for inspection. In the experimental evaluation, the metal and boron that remained in the furnace were taken into consideration. The energy consumption was also evaluated accordingly. The changes in the electrodes such as consumption, erosion, shape and dimension were carefully inspected and quantified.

Two H_3BO_3 - to- Fe_2O_3 ratios were used 0.44 and 1.12. These ratios changed the content of carbon in the furnace. Generally, the addition of the increased amount of fix carbon ratio in the charge increased the concentration of boron and silicon in the alloy.

The silicon arising from the charcoal and hematit is not detrimental if the production of Metglas 2605 is required. The con-

cent of coloured metals present in the alloy decreased with using the clean iron ore. The silicon and aluminium content of the alloy decreased with using charcoal containing more less ash. The carbon content of the alloy decreased with increasing boron concentration and, for an alloy containing 18 % boron, the carbon content decreased to 0.2 %.

The energy consumption per kilogram of boron in the alloy decreased with increasing boron concentration. The production of ferroboron alloys containing 10-20 % boron consumed an extra 14.5 kWh/kg B. This means that, for every unit of boron, nearly 1.45 kWh of energy per kilogram of boron was consumed. On the other hand, for alloys containing less than 10 % boron the energy consumption was 31 kWh/kg B for every unit of boron. It is obvious that the production of high-grade boron alloys is more economical from an energy point of view.

In all the experiment, curves of voltage-time, currenttime, powertime and resistance-time were obtained. During the experiments, the voltage fluctuated between 20-35 V, the amper fluctuated between 1400-1800 A. This system was short-circuited between 5-8 V. The choice of initial voltage was critical. If the voltage was less than 20 V. The arc was lost owing to a short-circuit. For this reason, the electrode spacing was adjusted to ensure the arc and to keep the voltage above 20 V. Excessive increase of the voltage caused the power consumption to increase and burnt the charge. The experiments indicated that 20 to 30 V was a satisfactory experimental condition.

The movement of the electrodes was controlled during the experiments by the use of a photocell. It was observed that electrodes were under the influence of two process: electrode erosion and the accumulation of metals or unmelted deposit at the bottom. When the metal has formed, the electrode movement was always towards the bottom. On the contrary when the unmelted deposit has formed, the movement was observed to be upwards.

The erosion of the electrode was not from the sides as expected, but from the bottom. For this reason the charged reagents were observed to be relatively unreactive during contact with the sides of the electrode and most of the reaction took place at the arc tip of the electrode.

Under optimum conditions, the electrode erosion rate is 6 cm/h and the consumption 120.5 g/kg Metal.

An unmelted deposit was observed to form when an excessive amount of carbon was present during the production of high-boron ferroboron. The carbon content of the unmelted deposit was found 14 %. It was observed that the deposit contained ferroboron.

The iron-borates were formed by drying of H_3BO_3 , and by the reduction of Fe_2O_3 in the furnace and they flow continued downward until coming to arc zone. This shallow ironborate slag is reduced under the electrode, to form ferroboron which accumulated at the bottom of the furnace. Unreacted B_2O_3 vapour evaporates upper cool parts of the furnace and condenses. Only 1.7 % of boron is lost in these type of system.

The overall electric resistance, in a slag resistance electric furnace, is an important factor in furnace design and performance and can be expressed as a function of slag electrical conductivity and furnace geometric factor. Geometric factor is function of electrical diameter, depth of electrode immersion, electrode spacing, and overall depth of the slag layer. In this study, they have been found that geometric factors were between 0.012-0.022 1/cm, slag resistances were between 15-25 mohm. As a result, the electrical conductivity of the ironborate slag has been determined as app. 0.8 ohm⁻¹.cm⁻¹.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ferrobor; metallik cam, magnetik malzeme üretiminde ve çeliğin alaşımlandırılmasında kullanılan bir master alaşımıdır. Uzun zamandır çeliğe mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla ilave edilen ferrobor, 1970'li yıllarda Fe-B esaslı alaşımların üstün magnetik özelliklerinin keşfi ile elektrik sektöründe önem kazanmıştır. Bu alaşımların hızlı katılaştırılması ile elde edilen saçlar, 1980 yılından beri doğru akım motorları için mıknatıs, dağıtım trafoları içinde çekirdek olarak büyük kullanım alanı bulmuştur. Bu tip alaşımlara örnek olan Fe-B-Si esaslı amorf alaşımların, konvensiyonel kristalin yapıdaki tane yönelmiş silisyum içeren çelik saçların yerine trafo çekirdek malzemesi olarak kullanılması, çekirdekteki güç kaybını $1/3-1/4$ oranında azaltmaktadır[1,2]. 1988 yılından beri A.B.D ve Japonyada dağıtım trafolarında bu tip malzemelerin kullanılmaya başlanması, enerji kayıplarını azaltarak, ekonomik fayda sağlaması yanı sıra, enerji üretmek için harcanan kaynakların tüketimini ve çevre kirliliğini azaltmaktadır [3,4].

Çeliğe katkı maddesi olarak kullanılmak üzere üretilen ferroborun, verilmiş standartlarında içerdiği alüminyum, silisyum, karbon, mangan ve kükürt gibi bileşenlerin sınırları verilirken krom, bakır gibi bileşenlerin sınırları belirtilmemiştir [5]. Ancak üretilen ferroborun % 92-94 Fe; % 3-3,5 B; % 3-3,5 Si içeren metalik cam başlangıç malzemesinin üretiminde master alaşım olarak kullanılması durumunda, sınırlamalar daha düşük değerlere inmektedir. Özellikle son yıllarda artan incelemelerin sonuçlarına göre, metalik cam içinde alüminyum konsantrasyonunun % 0.05'e, kükürt konsantrasyonunun % 0.02 ye artması, çekirdek kayıplarını arttırmıştır [6]. Mangan dışında bütün empüriteler Curie sıcaklığını arttırırken, amorf metalin kristalizasyon sıcaklığını düşürmektedir. Özellikle bakır, konsantrasyonunun % 0.5'e artmasıyla ilk kristalizasyon sıcaklığı hissedilir ölçüde düşmektedir [7]. Alaşımda kromun bulunması oksidasyon

direncini arttırırken konsantrasyonun % 2'ye varması çekirdek kayıplarını arttırmaktadır. Alaşımda bulunması durumunda üretim ve ısıtım işlem kolaylığı sağlayan karbonun % 0.20 konsantrasyonunu aşmasında çekirdek kayıplarını arttırmaktadır [8]. Bu nedenlerden dolayı ferrobor üretiminde hammadde seçimi son derece önemli olmaktadır.

Günümüzde 37.5 \$/kg fiyatındaki elementel borun amorf alaşımların üretiminde kullanılması, silisyumlu saçların yerine borlu saçların ikamesini imkansız kılmaktadır. Bu sebeple ferrobor üretiminde H_3BO_3 , B_2O_3 gibi çok daha ucuz bor içeren hammaddelerin kullanılması ekonomik zorunluluktur [9].

Dünyada en büyük bor rezervine (% 34) sahip Türkiye, % 32'lik rezerve sahip A.B.D.'nin borat cevheri üretimi açısından gerisinde kalmıştır. Dünya bor cevherlerinin % 62'si A.B.D., % 31'i Türkiye, % 4'ü Birleşik Devletler Topluluğu tarafından üretilmektedir. Türkiye Bigadiç, Kırka ve Emet'den elde ettiği kolemanit ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 6H_2O$) ve tinkal ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) cevherlerinin bir kısmını Etibank Bandırma Boraks ve Borik Asit Fabrikasında borikasit ve boraksa bir kısmını da Kırka'da boraksa kadar işlemektedir. Elde edilen cevher ve bileşiklerin tamamına yakın kısmı yurt dışına satılmaktadır. Ülkemiz henüz bor içeren ileri teknoloji malzemesi üretememektedir [10,11].

Ferrobor genellikle metalotermik ve karbotermik proses olmak üzere iki yöntemle üretilmektedir. Metalotermik yöntemde kullanılan alüminyum ve silisyum gibi redüktantlar, üretilen master alaşımı içinde yüksek konsantrasyonlarda kalabilmektedir. Bu durum, alaşımın yüksek teknolojik malzeme üretiminde kullanımını sınırlamaktadır. Master alaşımının empürite konsantrasyon sınırlarının düşük değerlerde olmasının istendiği şartlarda karbotermik yöntem tercih edilmektedir. Karbotermik yöntem, ferrobor üretimine uygun hammaddelerin karıştırılarak ya ark fırınında ya da şaft fırınında ergitilmesiyle uygulanır. Ancak üretim koşulları ve reaksiyon mekanizmaları hakkında literatürde, yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Bu çalışmada bor kaynağı olarak borik asit, demir kaynağı olarak pigment kalitesinde demir oksit veya demir cevheri, redüktant olarak odun kömürü, şarj içinde porozite oluşturunu ve sinter yapıcı olarak tahta talaşı seçilmiştir. Bu hammaddeler farklı oranlarda karıştırılarak 100 kVA lık daldırmalı tip, tek fazlı, doğru akım elektrik ark fırınında ferrobor üretimi amacı ile ergitilmiştir. Deneyler sonucunda, şarj bileşiminin, ferroborda bor ve empürite konsantrasyonlarının, enerji ve elektrod tüketim değerlerinin ve fırının elektriksel karakteristiklerinin optimizasyonu yapılmıştır. Fırın içinde gerçekleşen olaylar, ferrobor oluşum mekanizmasını açıklamak üzere incelenmiştir.



2. FERROBORUN KULLANIM ALANLARI, TİCARİ ŞEKİLLERİ FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

2.1. Ferrobor Kullanım Alanları

Metal ve ametal özelliklerin her ikisini birden göstermesi nedeniyle metaloid olarak adlandırılan borun atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81 ergime sıcaklığı 2300°C (2050°C [12]) kaynama sıcaklığı 2550°C dir [13].

Günümüzde % 10-20 B içeren ferrobor master alaşımları amorf metal, magnetik malzeme üretiminde 100.000 ton/yıl [14] çelik üretiminde de 8000 ton/yıl miktarlarında tüketilmektedir [15].

Karbon ve alaşımlı çeliklerin sertliğini arttırmak amacıyla, ferrobor kullanımı 1930'lu yıllardan beri bilinmektedir. Çeliğe % 0.003-0.004 miktarlarında bor ilavesi ile, tane boyutunu küçültmeye ihtiyaç duyulmaksızın sertlik arttırılabilmektedir. Bu az miktardaki bor ilavesi ile, yüksek oranlarda manganez, nikel, krom gibi metalleri içeren alaşımlar ile aynı sertlikte malzeme üretilmiştir. Özellikle A.B.D.de ıslah çeliklerinde, pahalı ve az bulunan nikel ve molibdenin yerine büyük miktarlarda kullanılmaktadır [16,17].

Borun çeliğe ferrobor alaşımı şeklinde ilavesi, hem bor verimi, hem de istenilen bileşimin tutturulması bakımından çok iyi sonuç vermiştir. Ancak borun oksijen ve azota karşı yüksek ilgisi olması nedeniyle, çelik ferrobor ilavesinden önce deoksidi edilmeli ve azot, sistemden uzaklaştırılmalıdır. Borun çelikteki deoksidasyon etkisi silisyumunkine benzerdir [6].

Takım çeliklerine bor ilavesi sertleşme kabiliyetini arttırmaktadır. Paslanmaz çeliğe, yine ppm seviyelerinde bor ilavesi,

kaynak kabiliyetini, sürünme direncini, taneler arası korozyon direncini, nötron absorpsiyon kapasitesini arttırmakta, sıcak yırtılmaları önlemektedir. Krom, krom-nikel ve krom-nikel-kobalt gibi yüksek sıcaklık çeliklerine çok az miktardaki bor ilavesi bu malzemelerin kullanım ömrünü uzatmaktadır [5,15].

Yüksek hız çeliklerine, kullanımda sertleşebilen ve ısıl işlem görebilen çeliklere bor ilavesi özellikle sürünme mukavemetini arttırmaktadır [13].

Nükleer reaktörlerde kullanılan termik nötron ayar çubuklarının imalinde kullanılan özel çelikler de % 4'e kadar bor içerebilmektedir [5,13].

Dökme demire % 0.01'e kadar ilave edilen bor tane küçültücü etki yapar. Daha yüksek bor ilaveleri bor karbür oluşmasına sebep olduğundan sertlik ve mukavemeti arttırmaktadır. Bor, karbürü stabilize ettiği için sert döküm parçalarının haddeleme gibi işlemlerdeki aşınma direncini düşürmek için kullanılır [5].

Siyah temper dökme demire ferrobor ilavesi grafit çökmesine sebep olur. Artan ferrobor ilavesi ile, dökme demire hurda ile taşınan ve karbür oluşturan kromun kötü etkisi azaltılabilmektedir. Bor ile alaşımlandırılmış dökme demirlerin tavlama süreleri de kısalmaktadır [5].

Amorf bor, borkarbür veya ferrobor karışımları kullanılarak, çeliklere yüzey sertleştirme işlemleri uygulanabilmektedir [5].

1975 yılında bor içeren alaşımların üstün magnetik özelliklerinin keşfi, bu alaşımların elektrik sektöründe büyük kullanım alanı bulmasına sebep olmuştur. Özellikle % 3 B, % 5 Si içeren demir esaslı alaşımların, amorf metal (metalik cam) olarak sac haline getirilerek trafolar da kullanılabilmesi, konvensiyonel tane yönlenmiş silisyumlu saclara göre 1/3 oranında çekirdek kayıplarını azaltmıştır.

Metglas 2605 olarak adlandırılan bor içeren saçların başlangıç malzemesi ferrobordur. Ferrobor, silisyum (veya ferrosilisyum) ve demir karışımının ergitilmesi ile elde edilen alaşım hızlı katılaştırma cihazı kullanılarak 10^6 K/sn soğutma hızlarında 25 µm kalınlığında amorf metal bandlar üretilmektedir. Günümüzde bu bandların A.B.D.'deki dağıtım trafolarında silisli saçların yerine kullanılması ile senede 200 Milyon \$ tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. General Electric, Osaka, Takaoka, GEC ve Hydro-Quebec gibi büyük trafo üreticileri metalik cam kullanarak trafolar üretmişler ve olumlu sonuçlar almışlardır. Sonuçta Allied-Signal Co. trafo üretiminde kullanmak üzere 60.000 ton/yıl amorf metal üretim kapasiteli bir tesis kurmuştur [1,2,3,4,18].

Bor, 1982 yılından beri tanınmakta olan Fe-R-B (R=nadir toprak metal) esaslı sürekli mıknatısların önemli bir bileşenidir. Bu tip mıknatıslardan biri olan $Fe_{14}Nd_2B$ üretiminde de ferrobordur kullanılmaktadır [13,19].

Borun demir dışı metaller ile yaptığı alaşımlarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Manganez, krom, nikel ve kobalt bazlı kristal yapılu bor alaşımlarından, kabuk kalıba döküm yöntemi kullanılarak, kap ve saat kayışı üretilmektedir. Atomik olarak % 60-70 Ni, % 20-30 B ve % 5-20 Al içeren amorf demirdışı bor alaşımları da traş bıçağı, yarı iletken ve otomobil lastikleri için metalik kayış üretiminde kullanılmaktadır [20]. Alüminyum-bor veya alüminyum-titan-bor alaşımları, alüminyum ve alaşımlarının tane boyutlarının küçültülmesinde, bakır-bor alaşımında bakır deoksidasyonunda kullanılmaktadır. Ağırlıkça % 96 sıvı demir, nikel veya kobaltın oluşturduğu bor alaşımları, vakum sistemlerinde lehim ve sızdırmazlık malzemesi olarak kullanılmaktadır [5].

2.2. Ferrobordun Ticari Şekilleri

Bor içeren alaşımların DIN 17567 standardına göre bileşimleri Ek Tablo A.1 de standardize edilmemiş diğer ticari alaşım bileşimlerinde Ek Tablo A.2 de verilmiştir [5].

Ferrobor master alaşımları için kimyasal bileşim sınırlamaları standardize edilmişken, bu master alaşımdan elde edilen metalik saçların kimyasal bileşim sınırları henüz standardize edilmemiştir. Ancak bu tip malzemeleri üreten firmaların başında gelen Allied Signal Co.dan getirtilen METGLAS 2605 grubu numunenin kimyasal analizi sonucu, bu metalik saçların % 3.0 B; % 3.7 Si; % 0.026 Cu; % 0.077 Ni; % 0.066 Cr; % 0.035 Al; % 0.042 Co içerdiği ve kalanınında demirden oluştuğu saptanmıştır.

2.3. Ferroborun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ferrobor alaşımları Fe_2B , FeB gibi metaller arası bileşiklerden oluşmaktadır ve yoğunluğu alaşım konsantrasyonuna göre değişmektedir. Ağırlıkça % 16.4 B; % 0.2 Al içeren alaşımın yoğunluğu 6.45 g/cm^3 iken, % 20.2 B; % 2.7 Al içeren alaşımın yoğunluğu 6.02 g/cm^3 dür. Ferrobor alaşımlarının diğer fiziksel özellikleri Ek Tablo A.3 de verilmiştir[5].

Fe_2B 1:2 HCl de hidrojen çıkışı ve boran oluşturarak çözünür. FeB ise HCl ($d=1.19$) ve H_2SO_4 ($d=1.84$)'de oda ve kaynama sıcaklığında çözünmez ancak HNO_3 FeB'yi tamamen çözer. FeB ve Fe_2B 350°C a kadar azota dayanıklıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda bornitrür oluşumu başlar [5].

% 0.04-42 B içeren alaşımlar atmosferik şartlarda ve yüksek sıcaklıkta ($800-1000^\circ\text{C}$) oksitlenmeye karşı dirençlidir. Bor konsantrasyonunun % 0.32 den fazla olan alaşımlarda koruyucu etkisi bulunan $Fe(BO_2)_2$ fazı oluşmaktadır [5].

3. FERROBOR ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Ferrobör endüstride, aluminotermik, silikotermik ve karbotermik yöntemler ile üretilmektedir. Üç yöntemde de başlangıç ham maddeleri; borik asit, bor oksit, bor cevheri, demir oksit, çelik hurdası ve redüktantlardan (alüminyum, silisyum ve karbon) oluşmaktadır. Ferrobörün kullanılacağı alan üretim yöntemini belirlemektedir.

3.1. Aluminotermik Yöntem

Çeliğe mekanik özelliklerini geliştirmek üzere ilave edilen ferrobör geniş çapta aluminotermik yöntem ile üretilmektedir. Bu yöntemde, bor oksit ve alüminyum tozu karışımı, bir aluminotermi potası içerisinde $KClO_3$ yardımı ile ateşlenerek reaksiyona sokulmaktadır. Oluşan reaksiyonların termodinamik özellikleri ve açığa çıkan ısı üretimin başarısını belirlemektedir. Açığa çıkan spesifik ısının 600 kcal/kg şarjdan düşük olması, aluminotermik reaksiyonun oluşmasını engellediği gibi, metal curuf ayrımının iyi bir şekilde oluşmasını önlemektedir. Aluminotermik reaksiyon esnasında, patlamalara ve dolayısıyla metal parçacıklarının curuf içinde kaybolmasına sebep olan, 1000 kcal/kg şarj değerinin üzerindeki açığa çıkan spesifik ısılar oluşturacak şarj karışımları kullanılamamaktadır [21,22,23]. Aluminotermik yöntem ile ferrobör üretimi esnasında oluşabilecek reaksiyonlara ait termodinamik hesaplamalar Tablo 3.1 de verilmiştir [24].

Aluminotermik reaksiyon esnasında açığa çıkan ısı oksitlerin redüklenmesi ve metal, curuf ayrımını sağlamak için yeterli olduğundan, sisteme dışarıdan ısı verilmesine gerek yoktur. Bu yöntem ile üretilmiş ferrobördaki bor konsantrasyonu % 16-20; alüminyum

konsantrasyonu % 1.5-6, alaşımda bor kazanım verimide yaklaşık % 40-50 olmaktadır.

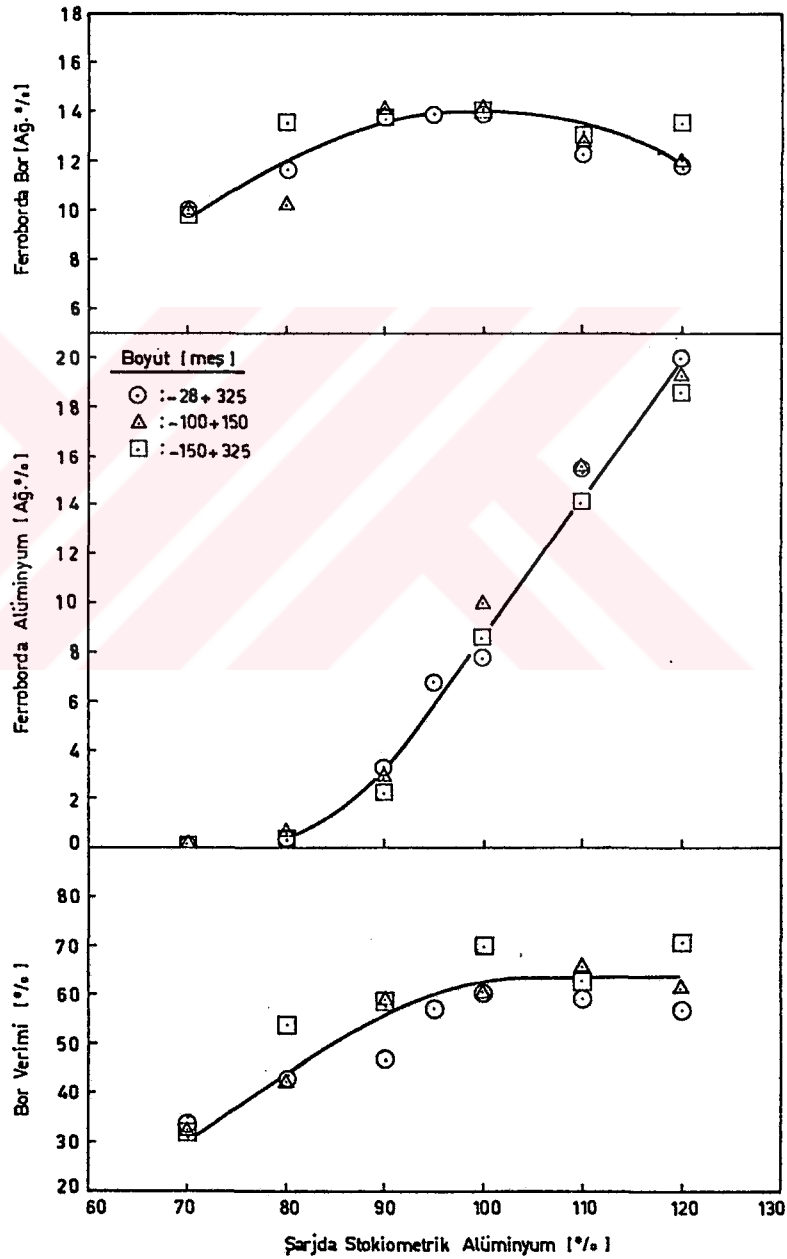
Tablo 3.1. Aluminotermik Reaksiyonların Standart ve Spesifik Isı Değerleri [24].

Reaksiyon	$\Delta H^{\circ}298$ kcal/mol oksit (-)	Spesifik Isı kcal/kg şarj
$B_2O_3 + 2 Al = 2B + Al_2O_3$	96	777
$Fe_2O_3 + 2 Al = 2Fe + Al_2O_3$	198	930
$KClO_3 + 2 Al = KCl + Al_2O_3$	412	2330

Aluminotermik yöntemde redüktant olarak alüminyum magnezyum alaışımının kullanılması spesifik ısıyı arttırmış böylece metal ve curufun daha iyi ayrılmasını sağlamıştır. Aluminotermik yöntemle ferrobör 1 ton ağırlığına kadar bloklar halinde üretilebilmektedir. Aluminotermik yöntem bir ark fırını içinde de gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumda, elektrik enerjisi kullanılarak reaksiyon süresi uzatılmakta; hem redüksiyon tamamlanmakta; hem de iyi bir metal curuf ayırımı sağlanmaktadır. Böylece metalde alüminyum içeriğı, curuftada bor kaybı azalmaktadır. Bu yöntem ile üretilmiş ferroborda bor konsantrasyonu % 20 ye kadar artarken, alüminyum konsantrasyonu % 2-4; metale bor kazanım verimide % 50-68 olarak gerçekleşmiştir. Aluminotermi potası yerine, elektrik ark fırını kullanılması, redüktant alüminyum miktarında % 36-40 tasarruf sağlamıştır [25,26,27,28, 29,30].

Yücel ve vd. tarafından yapılan yayınlanmamış bir çalışmada, ferrobör üretmek amacıyla aluminotermik proses; boroksit ve demir oksitten oluşan şarja uygulanmıştır [30]. Patlatma reaksiyonu, $KClO_3$ kullanılarak elektrik varyağı yardımıyla gerçekleştirilirken, kullanılan 1 kg şarj için spesifik reaksiyon ısısı 894 kcal olarak hesaplanmıştır. Metal curuf ayırımının iyi olduğu, aluminotermik yöntem

deneylerinde, hem ilave edilen alüminyum miktarına, hem de kullanılan alüminyum tane boyutuna göre, üretilen ferrobordaki bor ve alüminyum konsantrasyonlarının yanı sıra bor kazanma veriminin değişimi incelenmiştir. B_2O_3/Fe_2O_3 oranının 0.55 olduğu şartlarda, şarj karışımına stokimetrik miktarın katları kadar alüminyum tozu ilavesi ile gerçekleştirilen aluminotermik yöntem deney sonuçları Şekil 3.1 de görülmektedir.



Şekil 3.1. Ferroborda Bor ve Alüminyum Konsantrasyonları Yanı Sıra Bor Kazanım Veriminin, Şarja İlave Edilen Alüminyum Miktarı ve Tane Boyutuna Bağlı Olarak Değişimi [30].

Şarja ilave edilen alüminyum tozunun, stokiometrik miktarın 0.9 katına kadar arttırılması ferrobordaki bor konsantrasyonunu ve bor kazanma verimini hızlı şekilde arttırmaktadır. Alüminyum ilavesinin 0.9 katı aşması durumunda ferroborda bor kazanma verimi % 10 luk bir artış sağlarken, bor konsantrasyonu artış göstermemiş, buna karşılık alüminyum konsantrasyonu istenmeyen ölçülere hızla yükselmektedir. Alüminyum ilavesinin 1.0 kat dan daha fazla kullanılması durumundada ferrobordaki alüminyum konsantrasyonu artmaya devam ederek, bor içeriğinin azalmasına sebep olmaktadır.

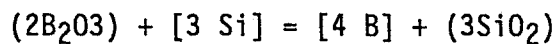
Deneylerde kullanılan alüminyum tane boyutunun azalması ferrobordaki bor ve alüminyum konsantrasyonlarını fazla değiştirmezken, bor kazanım verimini arttırmaktadır. -325 meş den daha ince alüminyum tozu (atomize toz) kullanılarak yapılan deneylerde aşırı tozlaşma ve şiddetli patlama gibi teknik zorluklarla karşılaşılması nedeniyle, deneylerin istenen faydayı sağlayamadığı ifade edilmektedir.

% 60 Bor kazanma verimi ile, % 14 B, % 3 Al içeren ferrobör, B₂O₃/ Fe₂O₃ oranının 0.55, alüminyum tozu stokiometrik ilave miktarının 0.90, olduğu şartlarda üretilebilmiştir.

3.2. Silikotermik Yöntem

Ferrobör üretiminde redüktant olarak silisyum veya silisyum içeren malzemelerin kullanıldığı silikotermik yöntem üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Sussman ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda bor içeren curufların silisyum ile redüksiyonu sonucu Fe-Si-B alaşımı üretilmiştir [9,20]. Reaksiyonun



şeklinde olduğu belirtilen çalışmada, alaşımdaki maksimum bor konsantrasyonu % 3.8, silisyum maksimum konsantrasyonu % 9.1 olmuştur. Redüksiyonu kuvvetlendirebilmek amacıyla bir miktar alüminyum da redüktant olarak ilave edilmiştir. Sonuçta alaşım içinde % 3 bor konsantrasyonunun elde edilebilmesi ancak, curuf bor konsantrasyonunun % 18'in üzerinde olduğu şartlarda sağlanabilmiştir. Borun alaşıma kazanılma verimide % 35-75 arasında değişmiştir.

Singhal ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da borik asitin dehidratasyonu sonucu elde edilen B_2O_3 , sıvı demirin bulunduğu şartlarda elektrik fırınında silisyum ve ferrosilisyum yardımıyla redüklenerek % 10-25 B ve % 0.5-20 Si içeren alaşımlar üretilmiştir. Reaksiyon esnasında oluşan SiO_2 esaslı curuf, metal alınmadan önce sistemden uzaklaştırılmaktadır [31].

3.3. Karbotermik Yöntem

Aluminotermik ve silikotermik yöntemler ile elde edilen ferroborun empürite açısından zengin olması, özellikle redüktant olarak kullanılan alüminyum ve silisyumun, alaşımin kullanımını sınırlandıran boyutlara çıkması, yeni bir yöntemin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu yeni yöntem redüktant olarak karbonun kullanıldığı karbotermik yöntemdir [13].

3.3.1. Şaft Fırınında Karbotermik Ferrobor Üretimi

Hamada ve arkadaşları tarafından ferrobor üretim çalışmaları uzun yıllardan beri devam etmektedir. Ergitme işlemleri için şaft tipi fırının kullanıldığı bu çalışmalarda hammadde olarak boroksit veya borik asit, ön redüklenmiş veya sinterlenmiş demir cevheri ve

kok kömürü fırına şarj edilerek, metalik cam üretimine uygun ferrobor üretilmeye çalışılmıştır [32,33].

3.3.1.1. Ön Redüksiyonla Ferrobor Üretimi.

Hamada ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, şaft fırını, demir cevherinin ön redüksiyonunda kullanılan bir akışkan yatak ile kombine edilmiştir. Bor oksit alt tüyerlerden, ön redüklenmiş demir cevheri üst tüyerlerden şaft fırını haznesine sıcak hava ile üflenirken kok fırına üstten beslenmiştir. Tablo 3.2 de a sütununda ayrıntıları verilen ergitmede % 59 bor kazanma verimi ile elde edilen alaşımın yüksek karbon içeriği dekarbürizasyon işlemini gerekli kılmıştır. Ancak dekarbürizasyon esnasında alaşımda mevcut borun da karbona benzer termodinamik özellikler göstermesi üretim maliyetlerini arttırmıştır.

Daha yüksek bor konsantrasyonlarının hedeflendiği ergitmede (Tablo 3.2., b sütunu) % 38.5 bor kazanma verimi ile elde edilen ferroborun, 800 kg'ı master alaşım olarak alınarak % 0.12 C; % 0.1 Si, % 0 B içeren 1760 kg sıvı çelik ile karıştırılmış ve % 3.1 B; % 4.2 Si; % 0.15 C içeren 2560 kg metalik cam (amorf metal) başlangıç malzemesi üretilmiştir [33].

3.3.1.2. Direkt Redüksiyonla Ferrobor Üretimi

Yine Hamada ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda demir cevheri sinterlenerek kok ile birlikte şaft fırınının tepesinden beslenmiştir. Bor hammaddesi olarakta borik asit kullanılmış ve yine tüyerelerden beslenmiştir. Düşük konsantrasyonlu ferrobor, % 73 bor kazanma verimi ile (Tablo 3.2., c sütunu), yüksek konsantrasyonlu ferrobor % 67 bor kazanma verimi ile (Tablo 3.2, d sütunu) üretilmiştir. Direkt redüksiyon yöntemindeki yüksek bor kazanma verimlerine karşın, ön redüksiyon yönteminde ergitme hızları daha yüksek olmaktadır.

Tablo 3.2. Şaft Fırınında Ferrobor Üretim Ayrıntıları [32,33].

Malzemeler	Ön Redüksiyonla		Direkt Redüksiyonla	
	a	b	c	d
<u>Bor Hammaddesi:</u>	Boroksit	Boroksit	Borik asit	Borik asit
Boyut (meş)	-200	-200	-200	-200
Besleme;kg/saat	86	240	80	250
<u>Demir Cevheri:</u>	MBR	Carol	MBR	Carol
Boyut: Toz	2 mm'den az	2 mm'den az	-	-
Sinter	-	-	5-10 mm	5-10 mm
Ön redüksiyon %	65	78	-	-
Besleme;kg/saat	603	280	560	360
<u>Redüktant</u>	Kok	Kok	Kok	Kok
Boyut; mm	20-30	20-30	20-30	20-30
Besleme;kg/saat	603	800	405	820
<u>Üflenen Hava,</u>				
Sıcaklığı, °C	900	900	900	900
Hızı, Nm ³ /saat	1800	1800	1200	1700
<u>Ürünler:</u>				
Ferrobor,kg/saat	507	290	304	280
Curuf, kg/saat	634	200	420	230
FeB Bileşimi %				
B	3.1	9.9	3.3	10.2
Si	2.6	13.3	2.9	11.7
C	3.2	0.3	3.0	0.2
Fe	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

3.3.2. Ark Fırınında Ferrobor Üretimi.

Ferrobor üretmek amacıyla elektrik ark fırını ilk defa 1893 yılında Moissan tarafından kullanılmıştır. Borik asit, karbon ve demir, karbon astarlı, tek fazlı bir fırında ergitilerek ferrobor

üretilmiştir. Ancak alaşım, yüksek karbon içeriği nedeniyle geniş kullanım alanı bulamamıştır [5,29,34].

Ferrobor üretimi doğrudan ark fırınında yapılabileceği gibi, ark fırını çeşitli ön redüksiyon cihazları ile birlikte kullanılarak da yapılabilmektedir.

3.3.2.1. Ön Redüksiyonla Ferrobor Üretimi

Allied Corporation'ın geliştirdiği bir yöntemde; borik asit, demir veya demir oksit, kömür ve şeker, değişik oranlarda karıştırılarak, döner fırında, ön ısıtma ön redüksiyon ve ark fırınında ergitme işlemlerine tabi tutulmuştur [35]. Ön ısıtma 300°C da gerçekleştirilerek karışımın sinterleşmesi sağlanmıştır. Kırılan sinter döner fırında 1000 ve 1300°C olmak üzere iki kademe redüklenerek ark fırınına aktarılmıştır. Deneyler sonucunda, % 13.6-15.4 B; % 0.3 C içeren ferrobor elde edilirken, alaşımda bor kazanma verimi % 68-86 arasında olmuştur. Sonuç olarak pelet kullanılması halinde sistemin sürekli çalışabileceği bildirilmiştir.

3.3.2.2. Ark Fırınında Doğrudan Ferrobor Üretimi

Karbon astarlı elektrik ark fırınının ferrobor üretiminde kullanılması borun alaşıma % 70 verimle kazanılmasını sağlamıştır. 100 kısım kuvarz, 40 kısım demir talaşı, 60 kısım kok ve 100 kısım kolmanit karışımı 1000 kVA lık bir fırında ergitilerek; % 5.35 B; % 37.2 Si, % 0.21 C içeren alaşım üretilmiştir. Kabul edilebilir bor kazanma verimine rağmen, 112 kWh/kg B gibi yüksek enerji tüketimi değeri sistemi ekonomik olmaktan çıkarmıştır. [5,14].

Mitsui Mining and Smelting Co, Ltd. tarafından yapılan çalışmada, borik asit ve bor oksit kullanılarak ark fırınında ferrobor

üretilmeye çalışılmış, ancak oluşan borkarbür bloğu üretimi engellemiştir. Karbür oluşumunu önlemek için sisteme ilave edilen CaO, cüruf oluşturarak bor kayıplarına sebep olmuştur. Üretilen alaşım % 10.5 B; % 0.07 Al; % 0.12 P; % 0.8-1 C ve % 2.2 Si içerirken, bor kazanım verimi % 76-82, ferro-bordaki kg B başına harcanan elektrik enerjisi 44 kWh olmuştur [14].

Hamada ve arkadaşları tarafından bor oksid, toz demir cevheri silis kumu ve kok kömürü karışımının, 100 kVA elektrik ark fırınında ergitilmesi ile, % 10.3 B, % 13.4 Si, % 0.2 C içeren alaşım % 82.2 bor kazanma verimi ile üretilmiştir [33].

Koya Seki ve arkadaşları tarafından ferrobor üretmek amacıyla yapılan çalışmalarda da elektrik ark fırını kullanılmıştır [36]. Karbür oluşumu ve empürite konsantrasyonlarının yüksekliği problemleri oluşturmuştur. Karbür oluşumunu engellemek için şarja ilave edilen karbon türü redüktantın azaltılması, elektrodlar arasındaki elektrik direncini arttırdığından elektrodların hareketini sınırlamıştır. Elektrodların sıkça metale dokunması ise elektrik yüklemesini imkansız kılmıştır. Bu yüzden ergimemiş depozit adı verilen ve % 36.4 C; % 11.3 B içeren fazın kontrollü şekilde üretilmesi amaçlanmıştır. Düşük reaktiviteli kömür kullanılarak ergitmeye başlanması ergimemiş depoziti oluşturmuş ve bu andan itibaren stokiometrik miktarın % 90'ını geçmeyecek şekilde yüksek reaktiviteli kömür ilavesi bu birikintiyi kontrol altında tutarak, ergitmenin sorunsuz olarak sürmesini sağlamıştır. Alaşımdaki empürite konsantrasyonu kontrolü hem bu faz üzerinden hem de başlangıçta seçilen hammadde girdileri ile yapılmıştır. Üretilen alaşımların bileşimleri % 16.5-21.4 B; % 0.18-0.29 C; % 0.19-0.50 Si; % 0.007-0.011 Al şeklinde olmuştur. Bu çalışmada ayrıca, alaşımda mevcut karbon miktarının, alaşımdaki bor miktarı ve sıcaklık ile doğrudan ilişkili olduğu gösterilmiştir. Örneğin % 9 B içeren alaşım % 0.5 C içerirken, % 20 B içeren alaşım % 0.1 C içermektedir. 1560°C da % 15.6 B içeren alaşım % 0.2 C çözebilirken, 1850°C da % 15.2 B içeren alaşım % 1.5 C çözebilmektedir.

Hähn ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada, bir elektrik ark fırını şaft tipi fırına dönüştürülerek, şarjın fırın içinde yüksek bir sütun halinde kalması sağlanmıştır. Hammadde olarak borik asit ve demir oksit, redüktant olarakta 1-3 mm tane boyutunda odun kömürü kullanılırken, şarj sütununda porozite oluşturmak amacıyla şarja 0.5-2.5 cm boyutlarında odun talaşı ilave edilmiştir. 280-330 kW/m² güç yoğunluğu uygulanarak yapılan redükleyici ve ergitme işlemi sonucunda % 18-20 B; % 0.2-0.5 Si; % 0.10-0.20 C; % 0.02-0.05 Al içeren ferrobor 43 kg/m² saat hızla elde edilirken bor kazanma verimi % 95, enerji tüketimi ise 35.5 kWh/kg B olmuştur [14,37,38].

3.3.2.3. Ergitme işlemlerinde Daldırmalı Tip Doğru Akım Elektrik Ark Fırını Kullanımının Avantajları.

Ferroalaşım üretiminde sağladığı avantajlar nedeniyle daldırmalı tip alternatif akım (AC) elektrik ark fırınları şaft fırınlarının yerini almıştır. Elektrik enerjisinin bir ark oluşturularak redüksiyon ve ergitme işlemleri için kullanıldığı fırınlarda, şaft fırınında olduğu gibi redüktant kömürün yüksek mukavemet ve reaktiviteye sahip olmasına gerek yoktur. Daha küçük tane boyutundaki cevher veya konsantreler ark fırınlarında işlenebilmektedir. Daha kolay operasyon şartları ve üretimi amaçlanan metalin daha yüksek oranlarda kazanılması ark fırınlarının diğer avantajlarıdır. Bu tip fırınların yüksekliği arttırılarak ark zonunda oluşan ısı ve redükleyici gazların şarj sütunu içinde kullanılması sağlanmaktadır [39,40,41].

Tek fazlı elektrik ark fırınlarına, doğru akım (DC) trafolarından, 1971 yılından beri güç beslenmeye başlanması, önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir. DC ark fırınlarının üç elektrodlu AC fırınlarına göre avantajları; elektrod tüketiminin % 40-50 oranında daha az, elektrik enerjisi tüketiminin ve refrakter aşınmasının daha az olması, şarj içinde ısı dağılımının daha homojen olması, ergimiş fazın hareketli olması nedeniyle homojen ürün elde edilmesi şeklinde sıralanmaktadır [42,43].

4. TEORİK İNCELEME

4.1. Demir ve Bor Oksitlerin Redüklenme Koşullarının Teorik İncelenmesi

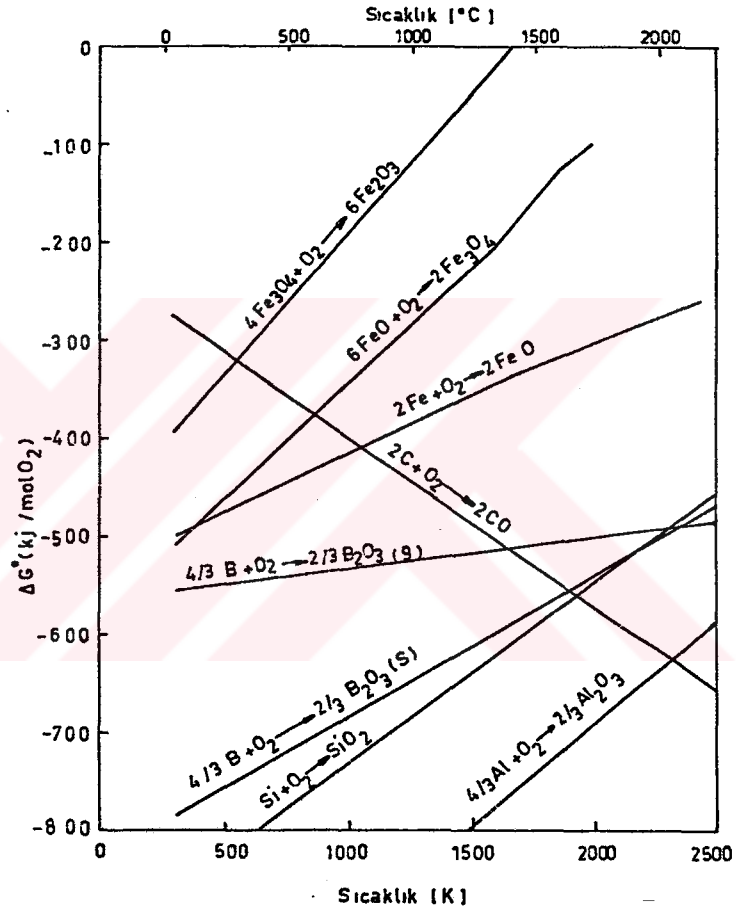
Ferroalaşımlar cevher veya konsantre gibi oksitli bileşiklerinden redüksiyon ile üretilmektedir. Seçilen redüktant, ürün kalitesini ve metal üretim verimini doğrudan etkilemektedir. Demir ve bor oksitlerin redüksiyon koşullarını belirlemek amacıyla yapılan termodinamik ve kinetik inceleme aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Termodinamik İnceleme

Ferrobör üretiminde rastlanabilecek oksitlerin serbest enerjilerinin, sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi Şekil 4.1.de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi mevcut oksidler arasında en kararlı olanı Al_2O_3 , en kararsız olanı Fe_2O_3 dür. Karbonmonoksit hariç bütün oksitlerin kararlılığı artan sıcaklık ile azalmaktadır. Bu şekil, demir ve bor oksitlerin redüksiyonunda redükleyici madde seçimi içinde kullanılabilir. Uygun şartlar yaratıldığında oksijene ilgisi daha fazla olan element, daha zayıf oksitler için redüktant olarak kullanılabilir. Redüksiyon reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için oksitlerin oluşum serbest enerjilerinin arasında en az 40 kJ değerinde bir farkın bulunması gerekmektedir [26]. Bu nedenle demir ve bor oksitler için uygun redükleyici madde-ler alüminyum, silisyum ve karbondur.

Redüktant olarak katı karbonun kullanıldığı şartlarda, oksitlerin redüklenme sırası Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO , B_2O_3 (g), B_2O_3 (s), SiO_2 ,

Al_2O_3 şeklindedir. Demir bordan önce redüklenirken, gaz boroksitin redüksiyonu 1650 K de, sıvı bor oksitin redüksiyonu 1900 K de gerçekleşmektedir. Diğer taraftan bor oksitin buhar basıncı da artan sıcaklıkla artmakta (Şekil 4.2.) ve 1900 K de 9.7 mm Hg değerine ulaşmaktadır [24].

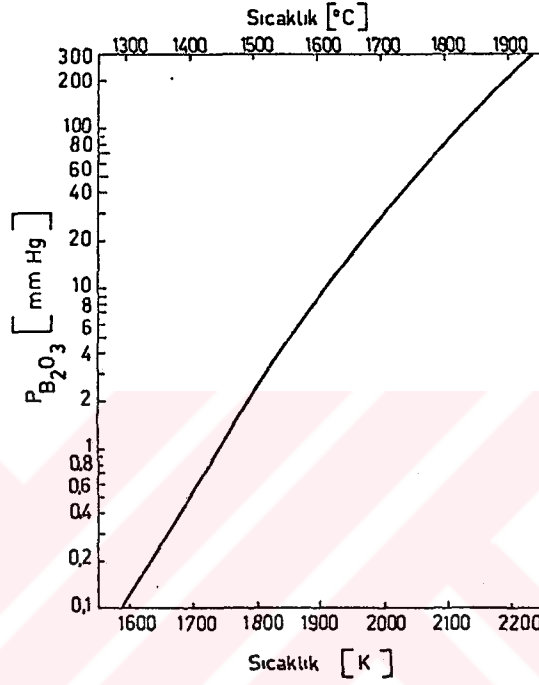


Şekil 4.1. Oksitlerin Serbest Enerji Değerlerinin Sıcaklık ile Değişimi [24].

Bu bilgiler ferrobor oluşumunda iki olasılığın söz konusu olduğunu göstermektedir. Bunlar;

1. Bor oksitin katı karbonla redüksiyonunun gaz fazında olması,

2. FeO'ya kadar redüklenen demirin, demir boratlı bir curuf yapması ve bu curuf üzerinden ferrobor oluşmasıdır (Ek Tablo D.1) Literatürde demir borat bileşiklerinin termodinamik bilgilerinin mevcut olmaması nedeniyle bu konu üzerinde detaylı araştırma yapılamamıştır.



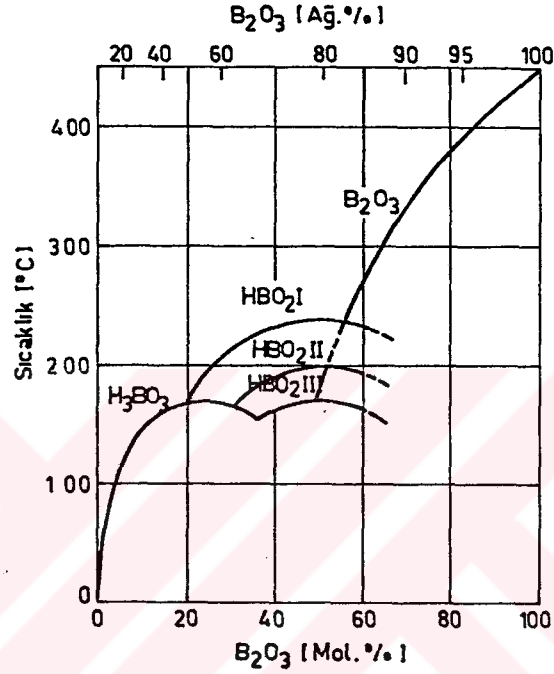
Şekil 4.2. Bor Oksitin Buhar Basıncının Sıcaklıkla Değişimi [24].

4.1.1.1. Borik Asitten Bor Oksite Geçiş Şartlarının Belirlenmesi

Ferrobor üretiminde bor kaynağı olarak borik asitin (H_3BO_3) seçildiği durumda, artan sıcaklıkla borik asit nemini kaybederek bor oksite (B_2O_3) dönüşmektedir (Şekil 4.3). Bu dönüşüm esnasında sıcaklığa bağlı olarak HBO_2 şeklinde bileşiklerde oluşabilmektedir. Ortamdan uzaklaşan su buharı miktarının artması sıvılaşma sıcaklığını arttırmaktadır. 450°C dan itibaren nem içermeyen bor oksit viskozitesi yüksek kovalent bağlı bir sıvı olarak tanınmaktadır [5].

4.1.2. Kinetik İnceleme

Literatür araştırmalarında bor oksit redüksiyon kinetiği hakkında bilgi bulunamazken, demir oksitlerin redüksiyonu üzerinde bir çok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 4.3. B₂O₃-H₂O Denge Diyagramı [5].

Yapılmış çalışmalar; artan sıcaklığın, şarj içersinde artan karbon/hematit oranının, azalan karbon parçacık boyutunun, redüksiyon hızını arttırdığını göstermiştir. İncelemeler redüksiyon davranışına, kullanılan malzemenin porozite ve boyutunun, demir oksit mineral cinsinin, gang minerallerinin ve ilavelerin cins ve miktarının etkisi olduğunu göstermiştir [44,45,46,47].

% 99.5 Fe₂O₃ içeren, -0.50 mm tane boyutundaki, kimyasal madde olarak kullanılan Baker hematit tozunun, karbon ile yapılan deneyleri sonucunda, redüksiyonun 1007°C de 60 dakika, 1087°C da 9 dakikada tamamlandığı bulunmuştur [44]. Benzer araştırmalar sonucunda, doğal hematit ve grafit karışımından oluşan 12 mm çapındaki peletlerin, 1022°C da, % 96 redüksiyon oranına 261 dakika sonunda ulaştığı gözlenirken [45], -0.5 + 0.25 mm tane boyutundaki demir cevheri tozlarının, aynı boyutta kömür tozlarının bulunduğu, 1000°C sıcaklıktaki

ortamda, % 90 redüksiyon oranına 150 dakikada ulaştığı saptanmıştır [47]. Carol Lake cevherlerinden elde edilen hematit pelet ve ince tozlarının manyetite kadar olan redüksiyonu, CO-CO₂ gazlarını içeren ortamda incelenmiştir. 850°C da peletin, manyetite redüksiyonu 35 dakika sürerken, aynı sıcaklıkta -0.65 + 0.45 mm boyutundaki tozların yine manyetite kadar olan redüksiyonunun 8 dakikada tamamlandığı saptanmıştır [48].

Kullanılan karbon cinsinin de demir oksitlerin redüksiyon kinetiği üzerinde önemli etkisi olduğu saptanmıştır [49]. Redüksiyonun Fe₂O₃ den FeO'e ve FeO'dan Fe'e olmak üzere iki kademe incelendiği bu çalışmada redüktant olarak hindistan cevizi ağacından elde edilen kömür, normal odun kömürü ve kok kullanılmıştır. 1000°C daki redüksiyon hız sabiti değerleri, birinci ve ikinci kademe için ayrı ayrı Tablo 4.1 de verilmiştir.

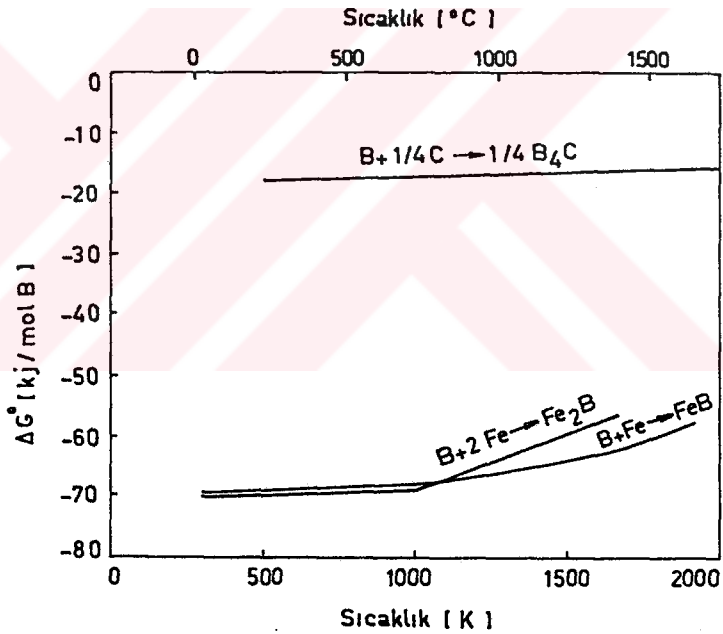
Tablo 4.1 den görülebileceği gibi hematitin demire redüksiyonu esnasında oluşan her iki kademe de, en yüksek redüksiyon hız sabiti Hindistan cevizi odun kömürü kullanılarak elde edilirken; normal odun kömürü kullanılması durumunda redüksiyon hız sabiti; kokunkine göre, birinci kademe yaklaşık 2.8 kat, ikinci kademe 2.5 kat daha fazladır.

Tablo 4.1. Demir Oksitlerin 1000°C daki Redüksiyon Hız Sabitleri [49].

Redüktant	Fe ₂ O ₃ → FeO	FeO → Fe
Hindistan Cevizi Odun Kömürü	0.115	0.030
Normal Odun Kömürü	0.036	0.005
Kok	0.013	0.002

4.2. Alaşım ve Karbür Oluşum Şartlarının Teorik İncelenmesi

Boroksitin redüklenmesi ile elde edilen elementel borun sistemde demir ve karbonun bulunması durumunda, alaşım veya karbür oluşturmaya olan ilgisi Şekil 4.4 de gösterilmiştir [24]. Ferrobor ve borkarbür oluşum serbest enerjilerinin sıcaklıkla değişiminin verildiği bu şekilden görülebileceği gibi, alaşım oluşum serbest enerjisi, karbür oluşum serbest enerjisinden dört kere daha büyüktür. Bu sebeble demirin bulunduğu şartlarda, ferroalaşımın oluşumu karbür oluşumuna göre daha kuvvetli ihtimaldir.

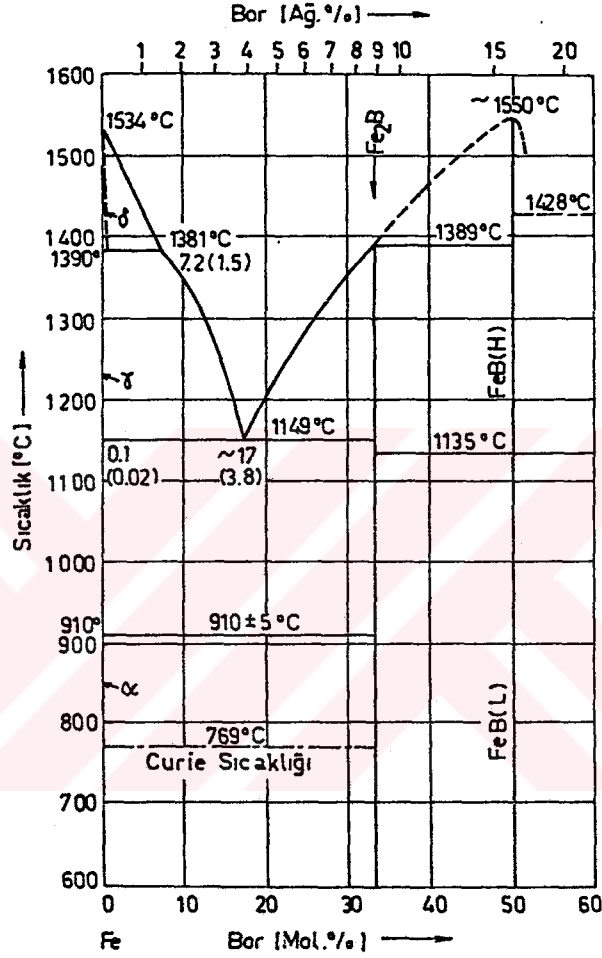


Şekil 4.4. Ferrobor ve Borkarbür Oluşum Serbest Enerjilerinin Sıcaklıkla Değişimi [24].

4.3. Demir-Bor Denge Diyagramı, Çözünürlükler ve Aktiviteler

Demir-bor ikili faz diyagramı Şekil 4.5 de verilmiştir. 1534°C da eriyen demir ve 2300°C de ergiyen borun oluşturduğu sistemde, % 8.83 B içeren tetragonal latise sahip Fe_2B 1389°C da, % 16.2 B içeren ortorombik latise sahip FeB 1580°C da ergimektedir [5,13].

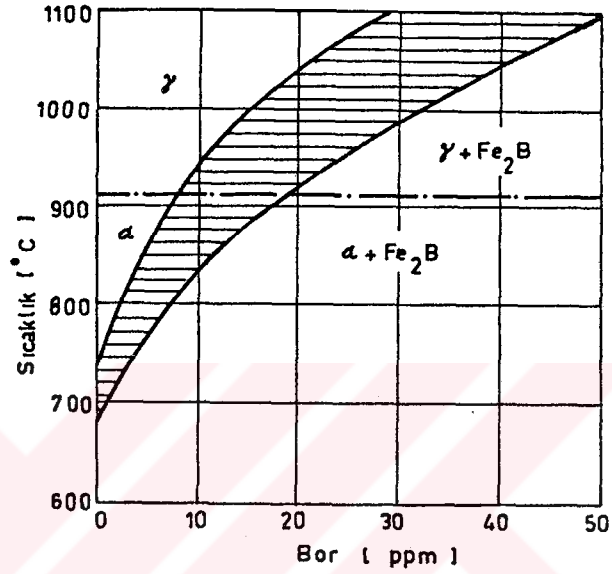
Demir-bor ikili sisteminde demirce zengin bölgede 1915 yılında Hannesen, Tschischewski ve Herdt tarafından yapılan ilk araştırmalarda bor çözünürlüğü incelenmiş, fakat ferrobordaki empüriteler



Şekil 4.5. Demir-Bor Denge Diyagramı [5].

dikkate alınmamıştır. 1929 yılında Wever ve Müller tarafından yapılan çalışmada alaşımlama elementlerinin etkisi incelenmiş, fakat yine ferroborda mevcut ve toplam miktarı % 4'ü bulan, karbon, silisyum, mangan ve alüminyum gibi elementlerin varlığı gözardı edilmiştir. 1950 lerde Nicholson, Busby, Wurga, Wells, Mc Bride, Spretak ve Speiser, daha sonraları Brown, Garnish, Honeycombe ve son zamanlarda da Cameron, Morral ve Ogawa belirli sıcaklıklarda demir içinde çözünebilecek boru gösteren araştırmalar yapmışlardır [13,50, 51]. Bu araştırmalardan faydalanılarak borun alfa-gama faz sınırında

maksimum çözünürlük değerleri belirlenmiştir. Bu değerler Şekil 4.6 da verilmiş ve alfa-gama faz sınır kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Bu sınırdaki çözünürlük değerleri çeşitli araştırmacılara göre 8 ile 20 ppm B değerleri arasında değişirken, 1000°C da gama demirde maksimum bor çözünürlüğü 16-33 ppm arasında değişmiştir [13].



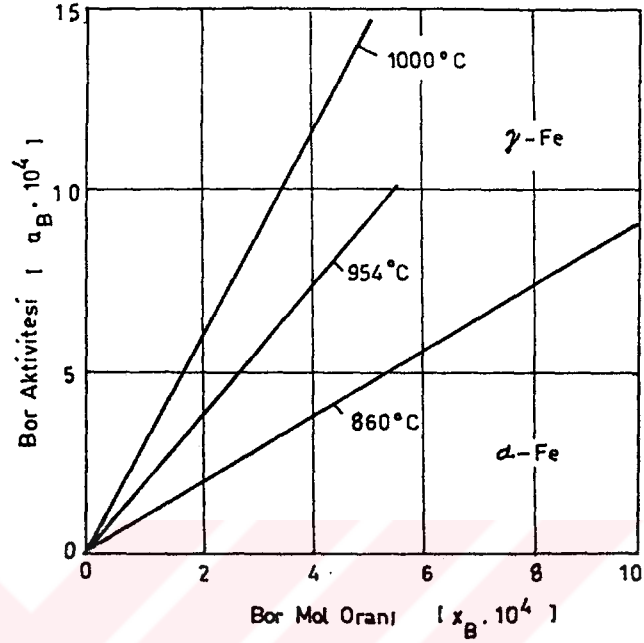
Şekil 4.6. Demir-Bor Denge Diyagramının Demirce Zengin Bölgesi [13].

Araştırmalar borun α -demir içinde yeralan, γ -demir içinde arayer atomu halinde bulunduğunu göstermiştir [16].

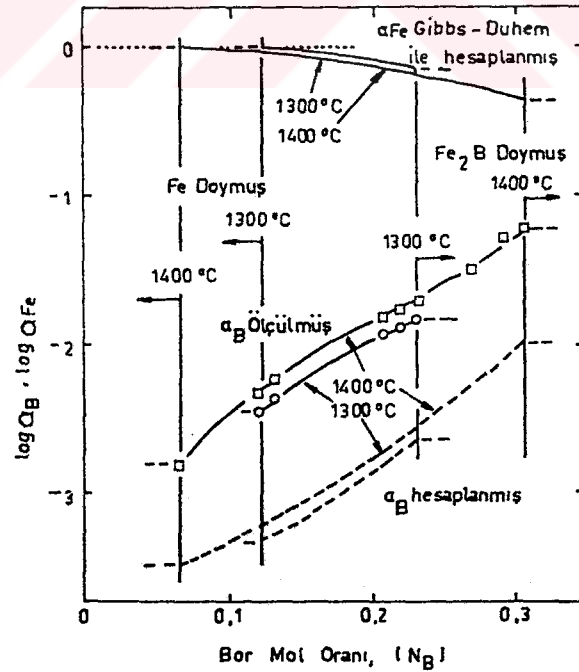
Brodowsky, Schaller, Allard ve Wernicke'nin yaptığı çalışmalar sonucunda borun, demir içinde çözünürlüğü 800-1100°C sıcaklıkları arasında deneysel olarak saptanmıştır. Bu ölçümlere dayanarak yapılmış hesaplamalar sonucu çizilmiş bor mol fraksiyonuna göre, bor aktivitesindeki değişimler Şekil 4.7 de verilmiştir [13]. Şekilden görülebileceği gibi, sıcaklığın azalması ile demir içindeki borun aktivitesi düşmektedir.

Yakinobu ve Ogawa tarafından yapılan çalışmada Fe-B ikili sisteminde bor aktivitesi emf ölçümleri yapılarak direkt olarak saptanmıştır [50]. Sonuçların verildiği Şekil 4.8 den görülebileceği gibi bor aktiviteleri Raoult kanunundan negatif yönde sapmaktadır. Ayrıca

yapılan ölçümler sonucunda bor aktivitelerinin literatürden hesaplanmış olanlardan oldukça yüksek olduğu görülmüştür.



4.7. α ve γ Demir İçindeki Bor Aktivitelerinin Bor Mol Oranının Fonksiyonu Olarak Değişimi [13].



Şekil 4.8. Katı Bor ve Katı Demirin Bulunduğu Referans Durumda, Fe-B Eriğinde Demir ve Borun Aktiviteleri[50].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kullanılan Hammadde, Cihaz ve Aletler

5.1.1. Hammaddeler

Ferrobor üretim parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde, bor kaynağı olarak Etibank Bandırma Boraks ve Borik Asit Fabrikalarından sağlanan % 99.5 safiyetteki kristal borik asit (H_3BO_3) kullanılmıştır. Borik asit % 0.1 Fe; % 0.1 SiO_2 ve kalanıda Mg, Ca ve Na gibi elementlerden oluşan empüriteleri içermektedir.

Demir taşıyan hammadde olarakta piyasadan temin edilen çeşitli demir oksitler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan demir oksitlerin cins, kimyasal analiz ve yüzey alanları Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan Demiroksit Analizleri.

No	Cins	Kaynak	Yüzey Alanı m^2/g	Ağırlıkça %							
				Fe	SiO_2	Al_2O_3	Mn	Cu	Cr	Ni	Co
1.	Pigment	Bayer	6.80	68.47	1.13	0.36	0.27	0.11	0.03	0.04	0.03
2.	Cevher	Etibank	1.95	68.78	0.73	0.39	0.04	0.11	0.01	0.03	0.04

Bayer'den temin edilen pigment kalitesindeki 1 nolu demir oksitin Shimadzu Santrifüjlü parçacık boyut analiz cihazı ile incelenmesi sonucunda, tane boyutunun, % 12 sinin 10-40 mikron, % 28 inin

1-10 mikron, % 46 sınıfın 0.4-1 mikron aralığında, % 14 ününde 0.4 mikrondan daha az olduğu saptanmıştır.

Etibank Antalya Ferrookrom fabrikasından temin edilen hematit cevherinin kırılıp öğütülmesi ile elde edilen 2 nolu demir oksitin tane boyutunun, % 39 unun 0.6-0.15 mm, % 35 inin 0.15-0.04 mm, % 18 inin 10-40 mikron, % 6 sınıfın 1-10 mikron, % 1 inin 0.5-1 mikron aralığında % 1 ininde 0.5 mikrondan daha az olduğu yapılan elek analizi sonucu saptanmıştır.

Deneylerde redüktant olarak kullanılan odun kömürü analizleri Tablo 5.2 de, odun kömürü kül analizleride Tablo 5.3 de verilmiştir. Odun kömürü boyutu olarak 1-3 mm aralığı seçilmiştir.

Tablo 5.2. Odun Kömürü Analizleri (Ağ. %)

No	Sabit Karbon *	Kül *	Uçucu *	Nem	Kükürt *
1	57.48	24.56	17.82	5.50	0.11
2	79.31	1.92	18.63	6.61	0.14

* : Kuru numune analizi

Tablo 5.3. Odun Kömürlerinin Kül Analizleri (Ağ. %).

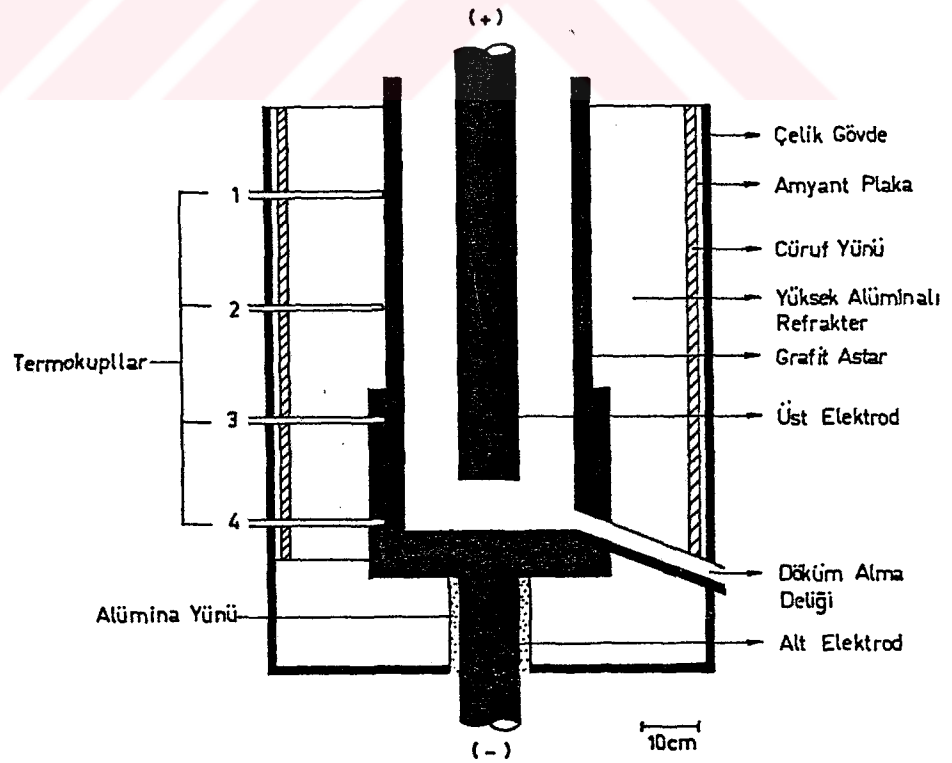
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
51.9	17,3	19,8	5,8	3,6

Deneylerde şarj yoğunluğunu arttırmak ve sinter oluşturmak amacıyla, % 11.80 sabit karbon, % 0.44 kül, % 87,76 uçucu madde (kuru numunede) ve % 11.80 nem içeren, 5-20 mm boyutlarındaki tahta taşı kullanılmıştır.

5.1.2. Cihaz ve Aletler

Ferrobor alaşıımı üretimine yönelik karbotermik redükleyici ergitme deneyleri; küçük çapta; Tammann fırınında, pilot çapta; elektrik ark fırınında yapılmış; üretilen metal, curuf ve sinter fazlarının X-ışınları analizlerinde Rigaku difraktometre, kimyasal analizlerde Perkin Elmer atomik absorpsiyon spektrometresi, fotoğraf çekiminde Jeol Taramalı Elektron Mikroskobu, demir oksidlerin yüzey alanının ölçümünde Quanta Chrom Bet cihazı kullanılmıştır.

Konsantrasyon, verim değerlerinin belirlenmesine yönelik maksimum 0.5 kg.lık şarjların redükleyici ergitme deneyleri 44 kVA lık Tammann fırınında gerçekleştirilirken, pilot çaptaki deneyler, 100 kVA lık, tek fazlı, doğru akım, grafit astarlı, 40 kg şarj alabilen elektrik ark fırınında yapılmıştır. Elektrik ark fırını potasının teknik resmi Şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1. Elektrik Ark Fırını Potasının Kesiti.

Vidalanarak birbirine eklenebilen elektrodlar su soğutmalı olup, üst elektrod (anod) yukarı aşağı doğru hareketli, alt elektrod (katod) sabittir. Üst elektrodun hareketi Heiddenhähn marka fotoselli elektronik bir cetvel kullanılarak 0.01 mm hassasiyetinde ölçülerek kaydedilmiştir. Böylece elektrod aşınımının zamana ve şarj bileşimine göre değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

Ark fırınına güç doğru akım güç kaynağı kullanılarak uygulanmıştır. Dört adet voltaj kademesi (30,40,50,80) olan ve gücü bir potansiyometre ile ayarlanabilen güç kaynağının elektriksel karakteristikleri Tablo 5.4, şeması Şekil 5.2 de verilmiştir.

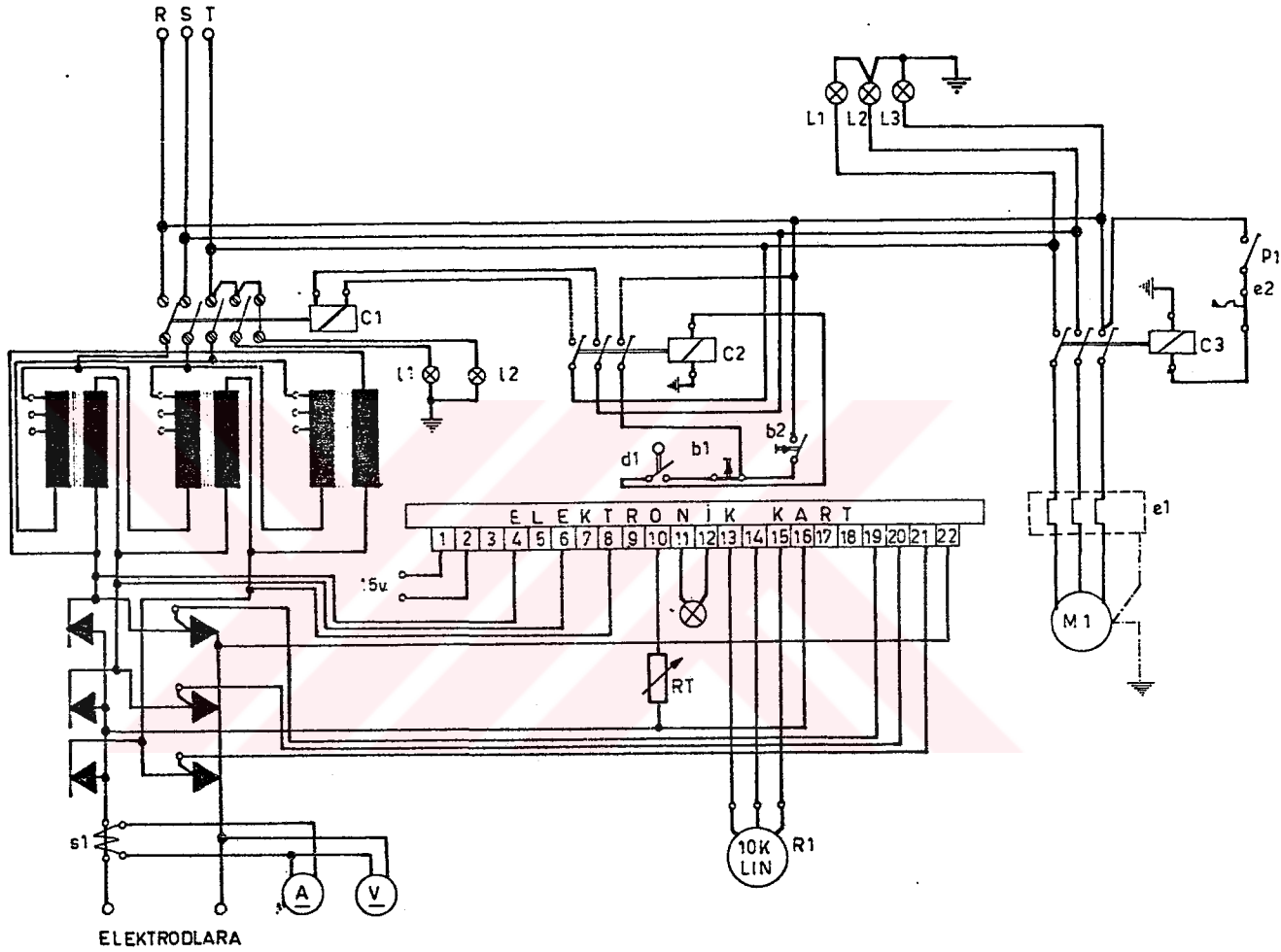
Tablo 5.4. 100 kVA lık Ark Fırını Güç Kaynağının Elektriksel Karakteristikleri.

Primer			Sekonder			
V	A	A _{max}	A		V	
			min	max	min	max
380	190	190	2500 - 4000		30 - 80	

Güç kaynağından ark fırınına güç uygulaması bir pano aracılığı ile yapılmıştır. Elektronik kartları ve elektrik devrelerini içeren, mevcut laboratuvarlarda geliştirilmiş panonun ayrıntılı şeması Şekil 5.3 de gösterilmiştir.

Panodan okunan akım ve voltaj gibi elektriksel değerlerin yanı sıra ark fırını potasına saplanan termokupllardan alınan sıcaklık ölçüm değerleri, yazılan bir bilgisayar programı ve veri toplama sistemi (Data Acquisition Unit = DAU) kullanılarak kaydedilmiş ve

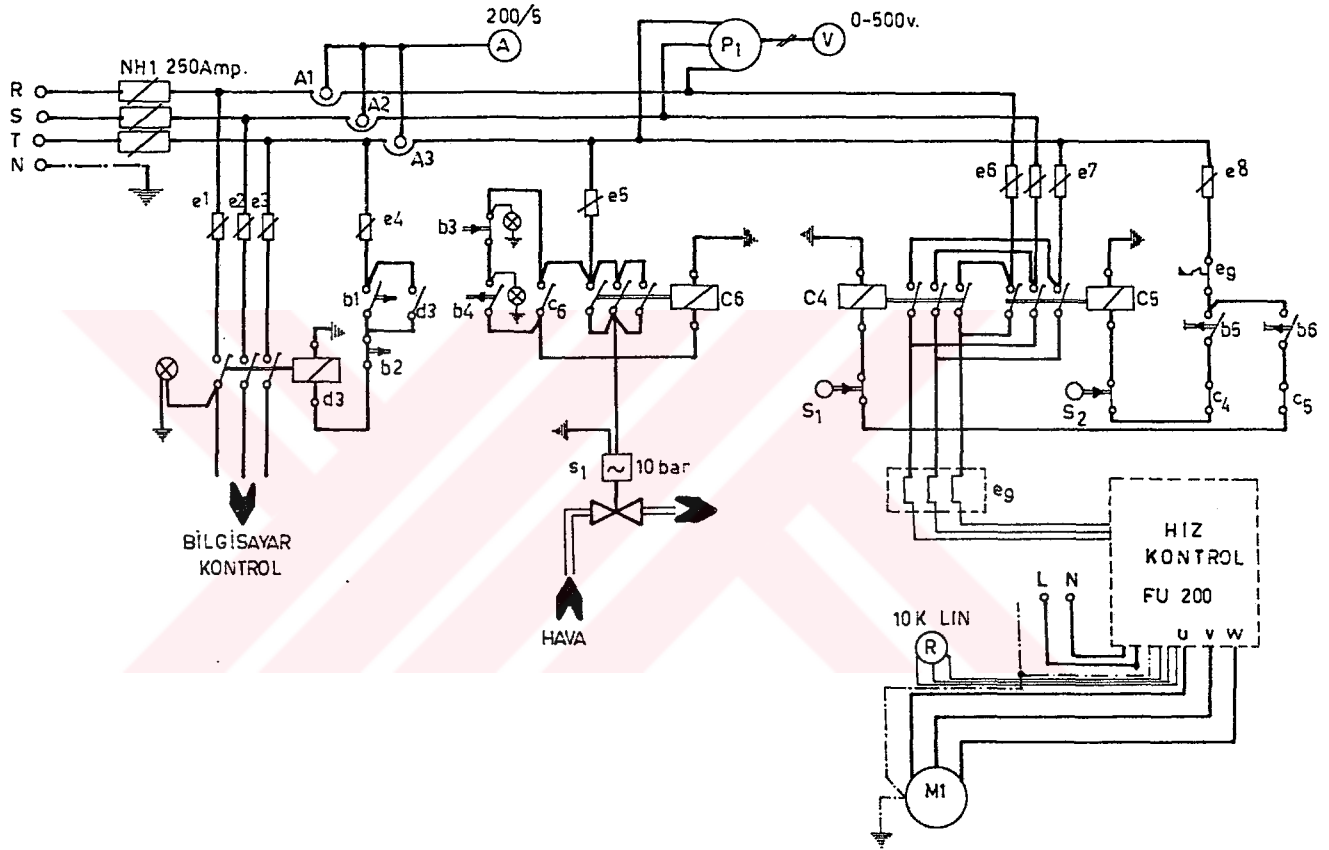
saklanmıştır. Zamana bağlı olarak kaydedilen voltaj ve akım değerleri kullanılarak, fırına verilen reel güç, ortalama güç ve şarj direnci hesaplanabilmiştir. Kullanılan bilgisayar ve DAU Hawlect



C1: Ana Kontaktör, C2: Yardımcı Kontaktör, C3: Fan Motoru Kontaktörü, L1: Çalışma Sinyali, L2: Durma sinyali; b1: Durdurma (Stop) butonu, b2: Çalıştırma (Start) Butonu, d1: Rüzgar Butonu, A: Ampermetre (0-5 kA), V: Voltmetre (0-100 V) R1: Ayar Potansiyometresi (10 kohm , lineer), S1: Şönt Direnç, L1, L2, L3: Ana Sinyal Lambaları, P1: Açma Kapama Şalteri, e1: Termik röle, e2: NK. Termikröle kontağı, M1: Fan Motoru.

Şekil 5.2. Ark Fırını Güç Kaynağının Şeması.

Packart markadır ve program yazılım dili Basic 5.0-5.1 dir. Yazılan programın menüleri Şekil 5.4 de, elde edilmiş tipik bir deney değerlendirme tablosuda Şekil 5.5 da verilmiştir.



NH1: Ana Sigortalar, A1, A2, A3: Akım Trafosu 200/5 Amp., P1: Voltmetre Kavitatörü, V: Voltmetre, C4, C5, C6: Kontaktör, d3: kontaklı, e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e8: W-Otomat Sigorta, b1, b4: Başlatma (Start) Butonu, b2, b3: Durdurma (Stop) Butonu, s1: Selonoid Valf (10 bar), S1, S2: Magnetik Limit Anahtarı, e9: Termik Röle, b5, b6: elektrod Kontrol Butonları, R: 10 ohm lin. Hız Ayar Potansiyometresi, M1: Elektrod Motoru.

Şekil 5.3. Ark Fırını Güç Kaynağı Panosunun Şeması.

MENÜ	
1. YENİ DENEYE BAŞLAMA	-SEÇİNİZ- 1-- VOLTAJ-ZAMAN 2-- AKIM-ZAMAN 3-- GÜÇ-ZAMAN 4-- DİRENÇ-ZAMAN 5-- ORTALAMA GÜÇ 6-- ANA MENÜ
2. GRAFİK ÇİZİMİ (T-t)	
3. GRAFİK ÇİZİMİ (t-V/A) →	
4. DİSK İNDEKSİ	
5. PROGRAM ÇIKIŞI	

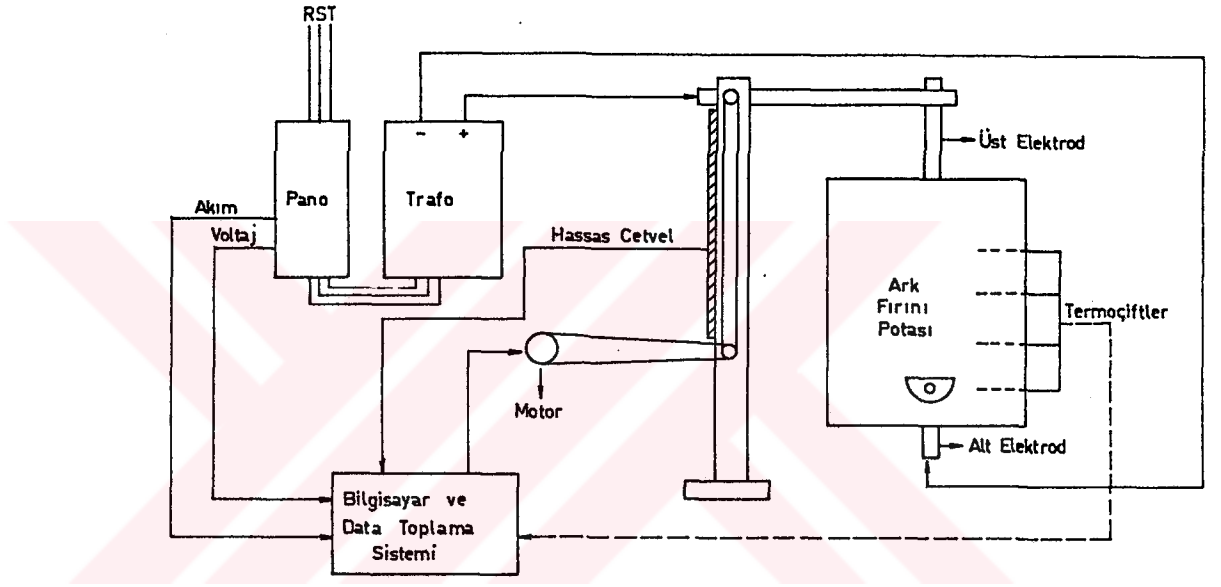
Şekil 5.4. Program Menüleri.

DENEY ADI:10_99	SEKONDER VOLTAJ(V)	SEKONDER AKIM(A)	GÜÇ(kW)	
BASLAMA SAATI:11:17:26	23.5	1494.1	35.1	
	23.3	1533.3	35.8	
SAAT:11:31:58	22.4	1505.9	33.7	
	21.8	1484.9	32.3	
DENEY SÜRESİ:00:14:32	21.8	1504.9	32.8	
MAX DENEY SÜRESİ 10 SAATTIR!				
ZAMAN	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	T4(°C)
11:26:45----->	1023	1009	559	221
11:27:46----->	1023	1008	567	217
11:28:47----->	1026	1010	570	222
11:29:47----->	1023	1008	574	224
11:30:48----->	1019	1004	578	226
11:31:49----->	1020	1002	582	230
DENEY SONU.OKUNAN DEGERLER KAYDEDİLSİN Mİ? (E/H)				

Şekil 5.5. Deney Değerlendirme Tablolarının Ekranda Görünüşü.

Ark fırını potasına, grafit astara kadar saplanan termokuplların cinsi Pt-PtRh10 dur ve zaman zaman daldırmalı tip termokupl devreye bağlanarak hazne sıcaklığı ölçülmüştür. Metal alma deliğinden metal akıtılırken optik pirometre kullanılarak alaşımın sıcaklığı okunmuştur.

Bütün sistemi kapsayan lojik şema Şekil 5.6 de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Ark Fırını ve DAU'nun Lojik Şeması.

5.2. Deneylerin Yapılışı

5.2.1. Tammann Fırınında Redükleyici Ergitme Deneyleri

Sabit H_3BO_3/Fe_2O_3 oranında farklı miktarlarda odun kömürü ve tahta talaşı ile karıştırılan şarj $1600 \pm 5^\circ C$ deki Tammann fırınına bir grafit pota yardımıyla yerleştirilerek, metal, curuf, sinter fazlarının oluşum şartlarını araştırmak amacıyla, redükleyici

ergitme deneylerine tabii tutulmuştur. Yaklaşık 1 saat süren deney süreleri sonunda grafit pota fırın dışına alınarak soğumaya terk edilmiştir. Elde edilen metal, curuf ve sinter fazları kırılarak serbestleştirildikten sonra analiz edilmiştir.

5.2.2. Ark Fırınında Redükleyici Ergitme Deneyleri

Ark fırınında ergitme deneylerinin her biri için belirli oranlarda 0.90 g/cm^3 yoğunluğundaki borik asit, 1.25 (No: 1) veya 2.9 g/cm^3 (No.2) yoğunluğundaki demir oksid ve 0.28 g/cm^3 yoğunluğundaki odun kömürü, 0.81 g/cm^3 yoğunluğundaki tahta talaşı ilaveleri ile hazırlanmış yaklaşık 100 veya 150 kg.lık şarj harmanları döner karıştırıcıda yaklaşık 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Şarj yoğunluğu endüstriyel uygulamalara benzer seçilerek [52,53] yaklaşık 0.6 g/cm^3 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şarj harmanı, 1 saat süreyle kapaklı olarak açık ark ile ısıtılmakta olan ark fırını potasına beslenmiş ve arka devam edilmiştir. Redüksiyon ve ergitme işlemi başladıktan sonra, şarjın fırın içinde kendiliğinden aşağı doğru hareket etmesiyle fırın ağzında oluşan boşluğa sürekli yeni şarj ilave edilmiştir. En fazla 4 saat süren ergitme deneylerinde, yaklaşık 2 saatte bir fırın tabanında oluşan sıvı metal, döküm alma deliğinin delinmesi ile dışarı alınmıştır. Aşırı karbon ilaveli şartlarda oluşan ergimemiş birikintide fırın tabanında katılaşmıştır.

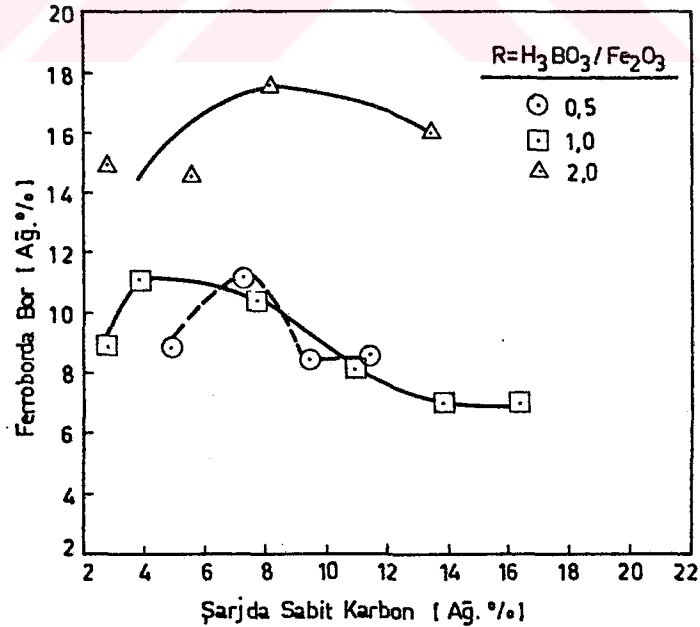
İstenilen sayıda metal alma işleminin yapılmasından sonra üst elektrodun yukarı doğru çekilmesi ile ark kesilerek, ağıza kadar şarj ile dolu olan fırın soğumaya terk edilmiştir. Fırın tamamen soğuduktan sonra fırın içindeki sinterleşmiş fazın belirli mesafelerinden numuneler alınmıştır. Hemen her deney sonucunda bulunan fırın dışına alınamamış metal fazıda, bor kazanma ve enerji tüketim değerlerinin hesaplanmasında metal ağırlığına ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen metal, curuf ve sinter fazları kimyasal ve X-ışınları analizlerine tabii tutularak incelenmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI

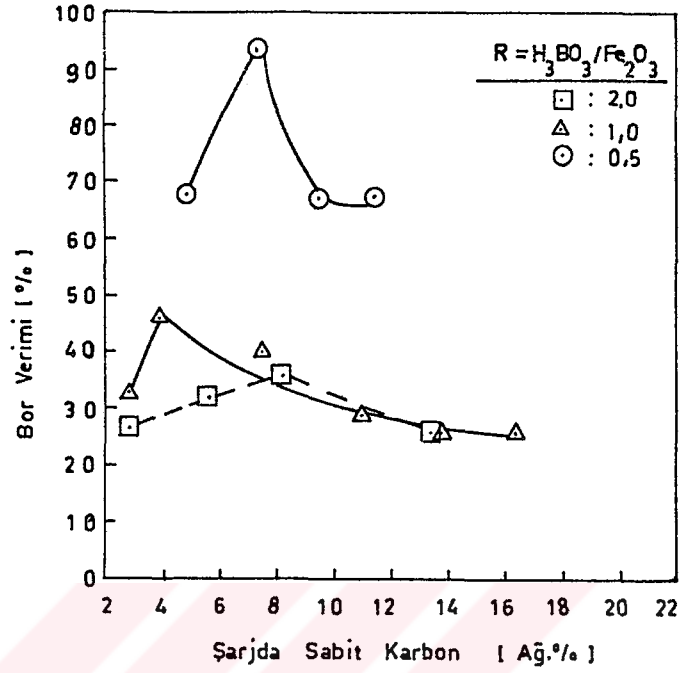
Karbotermik ferrobor üretim parametrelerini belirlemek için yapılan Tammann ve elektrik ark fırını ergitme deneylerinin başlangıç şartları ve ürünlerin analizleri Ek Tablo B1, B2 ve B3 verilmiştir.

6.1. Tammann Fırınında Redükleyici Ergitme Deney Sonuçları

Küçük çapta yapılan ergitme deneylerinde, ferroborda bor konsantrasyonuna ve bor kazanma verimine, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının ve şarjdaki sabit karbon miktarının, etkisi incelenmiştir. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranı 0.5, 1.0, 2.0 olarak seçilmiş ve her bir oran içinde değişen sabit karbon yüzdesi kullanılmıştır. Kullanılan kömür Tablo 5.2.deki 1 nolu olanıdır. 1600°C de 1 saat süreyle yapılmış ergitme deneylerinin sonuçları Şekil 6.1 ve 6.2 de verilmiştir.



Şekil 6.1. Seçilmiş H_3BO_3/Fe_2O_3 Oranlarında Şarjdaki Sabit Karbon Miktarının Ferroborda Bor Konsantrasyonuna Etkisi.



Şekil 6.2. Seçilmiş H_3BO_3/Fe_2O_3 Oranlarında Şarjdaki Sabit Karbon Miktarının Ferroborda Bor Kazanma Verimine Etkisi.

Şekil 6.1 ve 6.2 den görülebileceği gibi ferroborda bor konsantrasyonu ve bor kazanma verimi, hazırlanan şarj bileşimine bağlıdır. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.5 seçildiği şartlarda, şarjdaki sabit karbon miktarının % 4.8 dan % 7.2'e arttırılması bor konsantrasyonu % 7.9 dan % 11.2'ye, bor kazanma verimini % 68 den % 94 e arttırmıştır. Benzer şartlarda, şarjın daha fazla sabit karbon içermesi, konsantrasyon ve verim değerlerini düşürmüştür.

H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.0 olduğu şartlarda, bor konsantrasyonu % 11.1'e, bor verimi % 46 ya, şarj içinde % 3.8 sabit karbon olması durumunda çıkarılabilmektedir. Bu şartlarda metal üzerinde % 21.7 bor içeren curuf olduğu gözlenmiştir. Şarj içersindeki sabit karbon oranının arttırılması ferroborda bor konsantrasyonunu ve bor kazanma verimini düşürmekte ve metal fazı üzerinde curuf yerine toz bir fazın oluşmasına yol açmaktadır.

H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 2.0 olduğu şartlarda ise, % 17.5 bor içeren alaşım, % 36 verimle, şarjın içinde % 8.0 sabit karbon olduğu şartlarda elde edilebilmiştir. Sabit karbon miktarının arttırılması konsantrasyon ve verimi düşürmüştür.

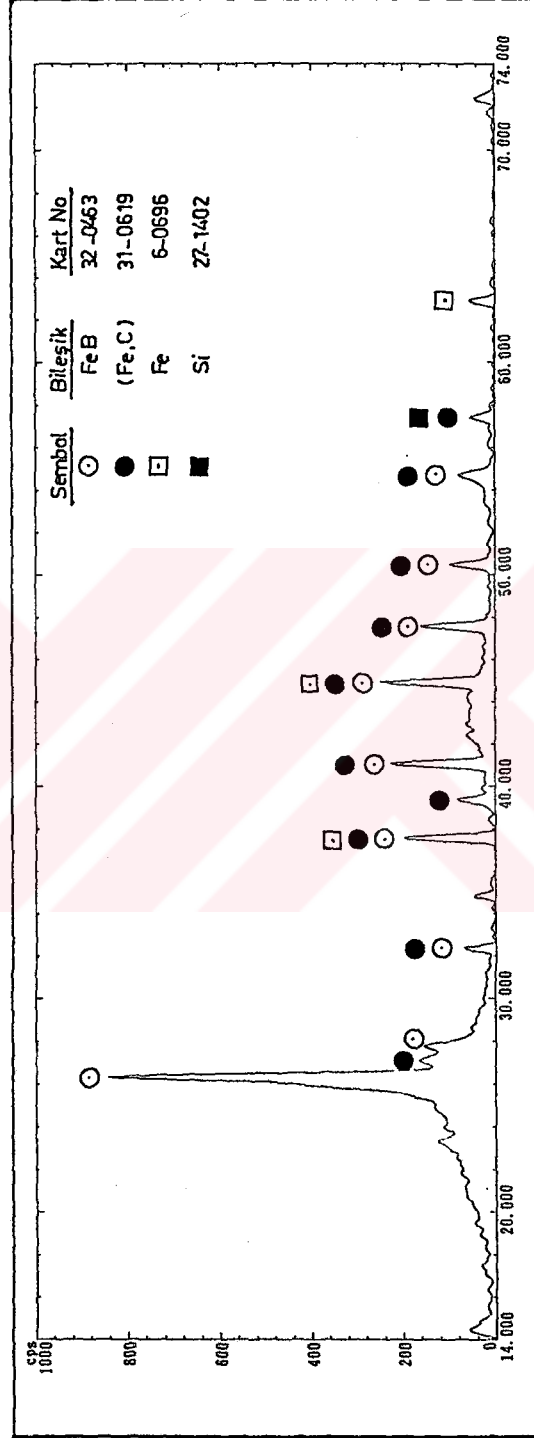
Metal fazı üzerinde biriken ve ergimeyen birikintinin kimyasal ve X-ışınları analizleri yapılmıştır. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 2.00 olduğu, şarj içinde % 13.3 sabit karbon bulunan deney şartlarında metal fazı üzerinde biriken; % 16.3 B, % 33.9 C içeren tozun X-ışınları analizi Şekil 6.3 de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu toz FeB; (Fe,C); Fe, ve Si içermektedir.

Ortamda aşırı miktarda kömürün bulunması nedeniyle oluşan bu bileşikler metal fazı içinde toplanamamakta, kömür taneciklerinin porları arasında sıkışarak kalmaktadır.

Redüktant miktarının arttırılmasında olduğu gibi şarjdaki H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının artmasında bor verimi ve konsantrasyonu yönünden istenilen faydayı sağlayamamıştır. Yüksek bor konsantrasyonlu alaşımın üretimin amaçlandığı şartlarda ferroborda bor konsantrasyonu bir miktar artarken, verim oldukça düşmüştür. Yüksek sıcaklık boroksidin buhar basıncını arttırdığından bor, fırın içinde tutulamamış ve kaybedilmiştir. Bu yüzden üretime yönelik çalışmaların B_2O_3 kondanase olabileceği daha soğuk bölümleri içeren fırınlarda yapılması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

6.2. Ark Fırınında Redükleyici Ergitme Deney Sonuçları

Aluminotermik yöntem ile elde edilen ferrobora alaşımlarında yer alan alüminyumun metalik cam ve magnetik malzeme üretimini engelleyecek miktarlarda olması, Tammann fırınında redükleyici ergitme deneyi sonucu oluşan alaşımlarda da bor konsantrasyon ve kazanım verimlerinin tatmin edici olmaması, ark fırınında üretimin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu yöntemde ark fırını, potası yüksekliği



Şekil 6.3. Tamman Fırınında Üretilen Ferrobor Alaşımlarının Üzerinde Ergimeden Birikmiş Yapının X-ışınları Analizi.

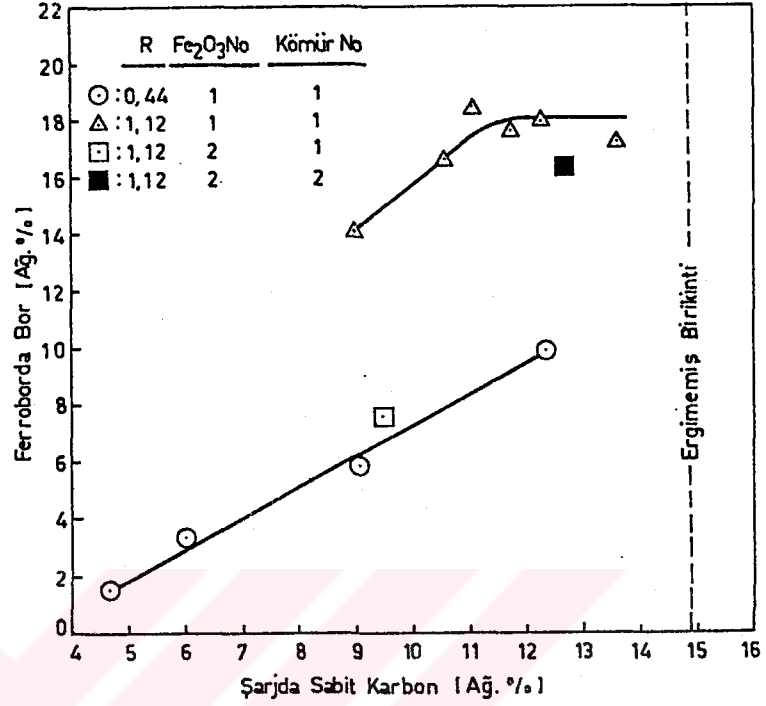
arttırılarak şaft tipine dönüştürölüp kullanılmıştır. Bu deneylerde, seçilmiş H_3BO_3/Fe_2O_3 oranlarında şarja ilave edilen odun kömürü miktarı değiştirilerek; konsantrasyon, enerji ve elektrod tktimi, elektriksel karakteristiklerdeki değişimler ve üretimi sınırlayan fiziki şartlar araştırılmıştır. Deney sonuçlarının zetleri Ek Tablo B2 ve B3 de verilmiştir.

6.2.1. Odun Kömürü İlavesinin Ferrobordaki Bor ve Silisyum Konsantrasyonlarına Etkisi

0.44 ve 1.12 olmak üzere seçilmiş iki farklı H_3BO_3/Fe_2O_3 oranında, şarja ağırlılığının % 5-25'i arasında odun kömürü ilave edilerek; ferrobordaki bor ve silisyum konsantrasyonlarındaki değişimler incelenmiştir. İlk grup deneylerde empüritelerin davranışını incelemek amacıyla pigment kalitesindeki demir oksit (Tablo 5.1; No.1) kullanılırken, ikinci grup deneylerde, demir kaynağı olarak, Etibank, Antalya-Ferrokrom Fabrikalarından temin edilen demir cevheri (Tablo 5.1; No.2) kullanılmıştır. şarjda kullanılan odun kömürü (Tablo 5.2; No: 1 ve 2) ve tahta talaşından gelen toplam sabit karbon miktarına bağlı olarak ferrobordaki bor ve silisyum konsantrasyonlarındaki değişimler sırasıyla şekil 6.4 ve şekil 6.5 de gösterilmiştir.

6.2.1.1. Odun Kömürü İlavesinin Ferrobordaki Bor Konsantrasyonuna Etkisi

H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44 olduğu, ferrobordalarda bor konsantrasyonu şarjda % 12.35 sabit karbon bulunması durumunda % 9.9'a ıkarılabilmiştir. Ancak, şarj içinde yüksek oranda kömür bulunması, şarj iletkenliğini arttırmış (Bölüm 6.2.3; Elektriksel Karakteristikler), fırın sıcaklığı gereği kadar arttırılamamış, sonuçta fırından metal alımında zorluklar ile karşılaşılmıştır.



Şekil 6.4. Ferroborda Bor Konsantrasyonunun Şarjdaki Sabit Karbon Miktarına Bağlı Olarak Değişimi. $R = \text{H}_3\text{BO}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$

Odun kömürü ve dolayısıyla sabit karbon ilavesinin azaltılması ise fırın içinde % 15'e kadar bor içeren curuf fazının miktarının artmasına sebep olmaktadır. Yeterli redüktant olmaması nedeniyle redüksiyon ilerleyememekte, ferroborda bor konsantrasyonu azalmakta, fırına verilen elektrik enerjisi ise metalin yanı sıra curufun ergitilmesinde de harcanmaktadır.

Yüksek bor konsantrasyonlu ferrobora üretiminin amaçlandığı, $\text{H}_3\text{BO}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ oranının 1.12 olduğu, 1 nolu demir oksitin kullanıldığı deneylerde, şarjdaki sabit karbon oranının % 9.0 dan % 12.25 e artırılması, ferrobordaki bor konsantrasyonunu % 14.1'den % 18.0 e arttırmıştır. Metal oluşmasını engelleyen şartlar % 14.88 sabit karbon içeren şarj bileşimi ile başlamıştır. Bu şartlarda metal yerine ergimemiş birikinti oluşmaktadır.

Demir kaynağı olarak iri ebatlı cevherin kullanılması da bor konsantrasyonu açısından benzer sonuçları vermektedir. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12 olduğu şartlarda yapılan deneylerde, şarj içinde % 9.51 sabit karbon bulunması durumunda, elde edilen alaşımda bor konsantrasyonu % 7.64 olurken, sabit karbon miktarının % 12.71'e çıkarılması, ferroborda bor konsantrasyonunu % 16.3'e arttırmıştır.

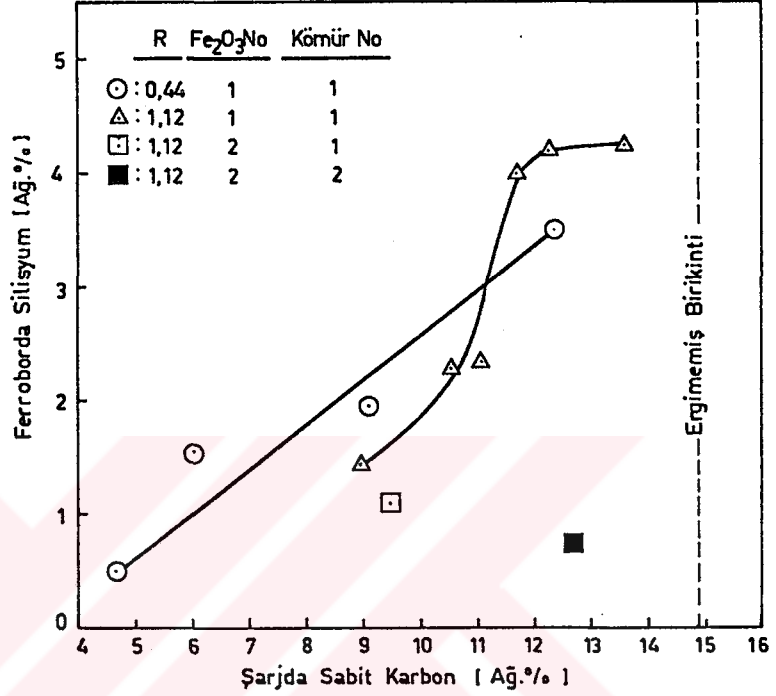
% 7.64 bor içeren ferrobora elde edildiği nispeten zayıf redükleyici şartlarda, metal üzerinde % 22.8 B içeren curuf; curufun üzerinde de % 16.1 B içeren viskoz bir faz oluşmuştur. Bu viskoz faz üretim esnasında devamlı olarak fırın içersinde yukarı doğru yükselmiş ve ergitme rejimini bozmuştur. Aynı demir oksid cinsi ile kül oranı düşük 2 nolu odun kömürü kullanılarak şarjdaki sabit karbon oranının % 12.71 e arttırılması hem ferrobordaki bor konsantrasyonunu arttırmış, hem de ergitme işleminin rejime girmesini sağlamıştır.

Sonuç olarak, demir oksidin tane boyutunun irileşmesi fırının ergitme rejimini bozmaktadır. Bu olayın önüne geçmek için kül oranı düşük, sabit karbon oranı yüksek kömür kullanımı gerekmektedir.

6.2.1.2. Odun Kömürü İlavesinin Ferrobordaki Silisyum Konsantrasyonuna Etkisi

Ferrobordaki silisyum konsantrasyonunun şarjdaki sabit karbon miktarına bağlı olarak değişimi Şekil 6.5 de verilmiştir. Şarj içinde sabit karbon miktarını arttırmak amacıyla Tablo 5.2 deki 1 nolu odun kömürünün artan miktarlarda kullanılması, üretilen ferrobora alaşımlarındaki silisyum konsantrasyonunun artmasına sebep olmuştur. Tablo 5.1 deki 1 nolu pigment kalitesindeki demir oksitini, Tablo 5.2 deki, 1 nolu odun kömürünün kullanıldığı, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, şarjdaki sabit karbon miktarının % 12,25 olduğu şartlarda alaşımda % 4.2 Si bulunabilmektedir. Buna karşılık demir kaynağı olarak Tablo 5.1 deki 2 nolu demir cevherinin, redüktant olarak Tablo 5.2.deki 2 nolu kül miktarı düşük odun kömürünün kullanıldığı H_3BO_3/Fe_2O_3

oranının yine 1.12, şarjdaki sabit karbon oranının % 12.71 olduğu şartlarda üretilen ferroborda silisyum konsantrasyonu % 0.72 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6.5. Ferrobordaki Silisyum Konsantrasyonunun Şarjdaki Sabit Karbon Miktarına Bağlı Olarak Değişimi.
 $R = H_3BO_3/Fe_2O_3$

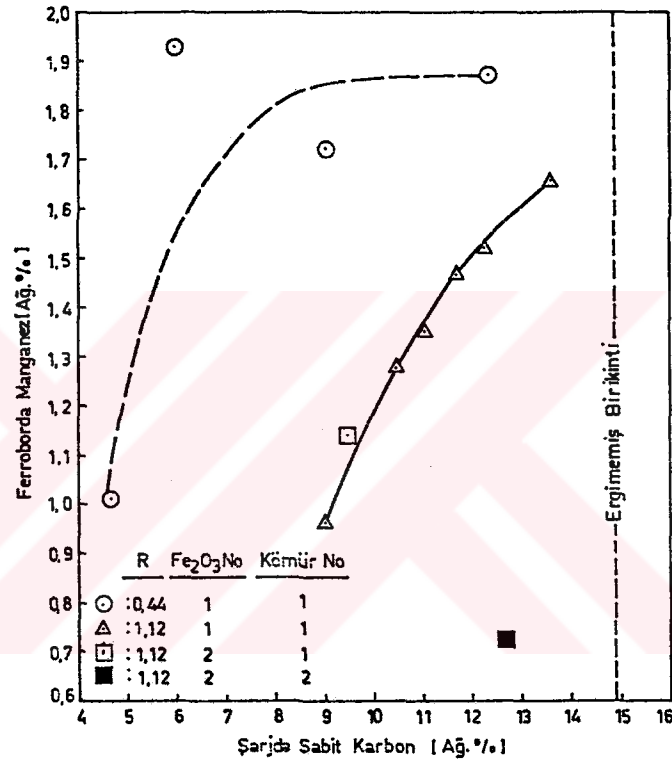
Bu silisyum konsantrasyonları, ferroborun metalik saç (Metglas 2605 Grubu) üretiminde master alaşım olarak kullanılmasına engel değildir. Aksine mevcut silisyum, alaşımlandırma işleminde kullanılan ferrosilisyum veya silisyum miktarlarını azaltacaktır.

6.2.2. Odun Kömürü İlavesinin Empüritelerin Davranışına Etkisi

Manganez

Ferrobordaki manganezin kaynağı kullanılan pigment kalitesindeki demir oksittir (Tablo 5.1.; No:1). H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44 olduğu şartlarda ferroborda manganez, artan karbon miktarı ile

artarak % 1.9 konsantrasyonuna varmıştır. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, şarjdaki sabit karbon miktarının % 13.6 olduğu şartlarda ise alaşımda manganez miktarı % 1.65 olarak gerçekleşmiştir. (Şekil 6.6). 2 nolu demir cevherinin ve 2 nolu odun kömürünün kullanıldığı şartlarda üretilen ferroborda ise manganez konsantrasyonu % 0.72 olarak düşük değerde gerçekleşmiştir.

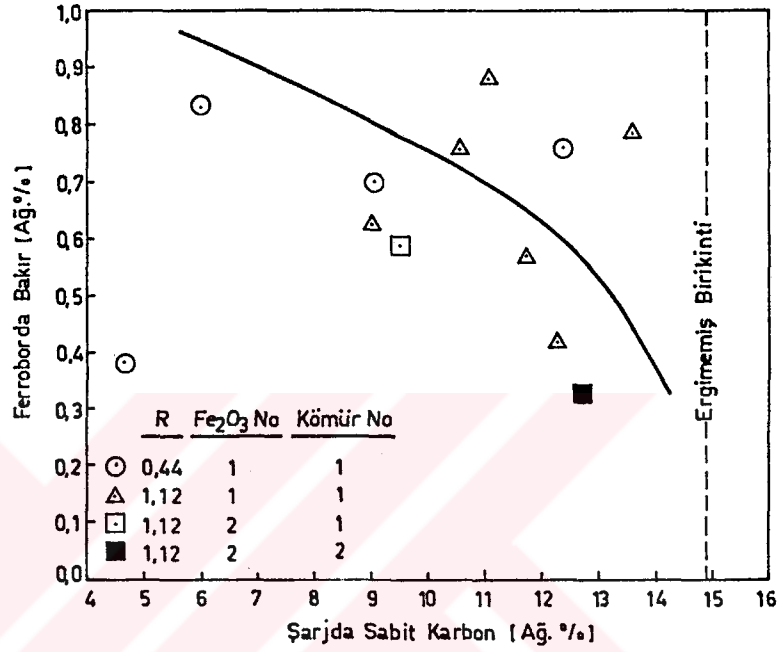


Şekil 6.6. Ferrobordaki Manganez Konsantrasyonunun Şarjdaki Sabit Karbon Oranına Bağlı Olarak Değişimi.
 $R = H_3BO_3/Fe_2O_3$

Bakır

Yine kullanılan demir oksitden ferrobora geçen bakır, artan sabit karbon miktarına bağlı olarak düşme eğilimi göstermiştir. (Şekil 6.7). Bu eğilime rağmen 1 nolu demir oksitin ve 1 nolu odun kömürün kullanıldığı şartlarda ferroborda bulunan en düşük bakır konsantrasyonu % 0.42 olmuştur. 2 nolu demir cevherinin ve 2 nolu odun kömürünün kullanıldığı, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, şarjda sabit

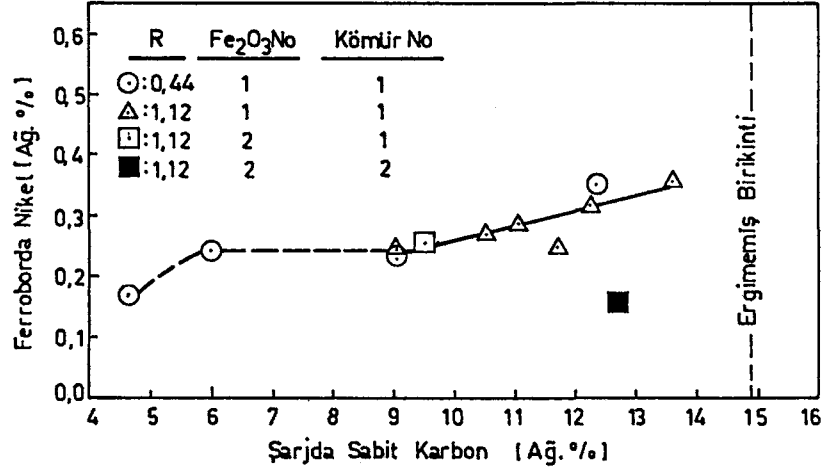
karbon miktarının % 12.71 olduğu şartlarda üretilen ferroborda bakır konsantrasyonu % 0.33 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6.7. Ferrobordaki Bakır Konsantrasyonunun, Şarjdaki Sabit Karbon Oranına Bağlı Olarak Değişimi.
 $R = H_3BO_3/Fe_2O_3$

Nikel

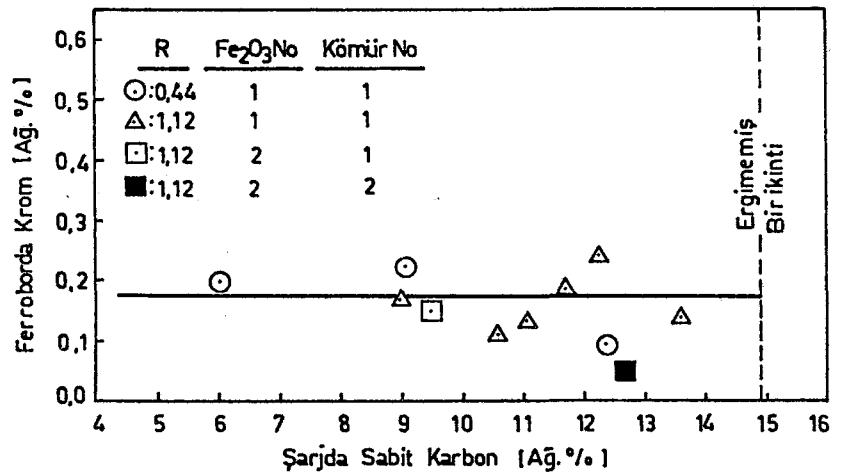
Kullanılan demiroksitten ferrobora geçen nikel, şarjdaki sabit karbon miktarının artması ile artmıştır. 1 nolu demir oksitin, 1 nolu odun kömürü kullanılarak yapılan ergitme deneyleri sonucu ferrobordaki nikel konsantrasyonu, şarjdaki sabit karbon oranının % 4.6 dan % 13.6 ya çıkarılmasıyla, % 0.17 den % 0.36'e artmıştır (Şekil 6.8). Buna karşılık 2 nolu demir cevheri ve 2 nolu odun kömürünün kullanıldığı, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, şarjdaki sabit karbon miktarının % 12.71 olduğu şartlarda üretilen ferroborda nikel konsantrasyonu % 0.16 olmuştur.



Şekil 6.8. Ferrobordaki Nikel Konsantrasyonunun, Şarjdaki Sabit Karbon Miktarına Bağlı Olarak Değişimi.
R=H₃BO₃/Fe₂O₃

Krom

Ferrobordaki krom konsantrasyonları, 1 nolu demir oksitin ve 1 nolu odun kömürünün kullanıldığı şartlarda, şarjdaki sabit karbon miktarının artması ile fazla değişmemiş ve yaklaşık % 0.2 olmuştur (Şekil 6.9). 2 nolu demir cevheri ve 2 nolu odun kömürünün kullanıldığı, şarjda sabit karbon miktarının % 12.71 olduğu şartlarda ise ferroborda krom konsantrasyonu % 0.05 olarak gerçekleşmiştir.



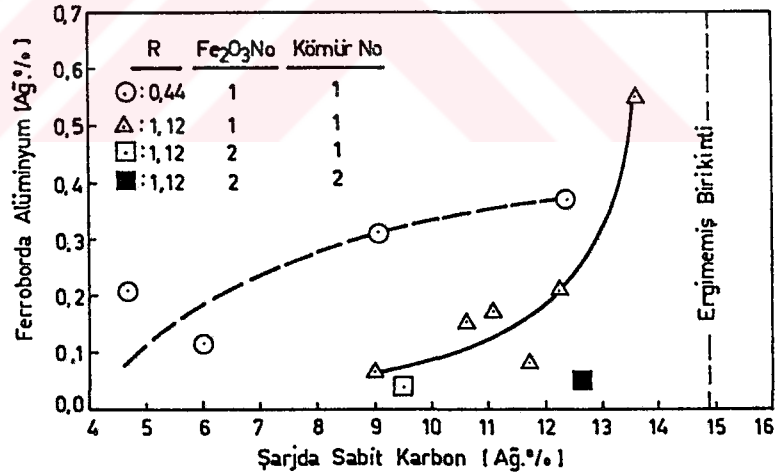
Şekil 6.9. Ferrobordaki Krom Konsantrasyonunun Şarjdaki Sabit Karbon Miktarına Bağlı Olarak Değişimi. R=H₃BO₃/Fe₂O₃

Kobalt

Ferroborda kobalt konsantrasyonu, demir oksit cinsinin veya şarjdaki sabit karbon miktarının değiştirilmesinden etkilenmemiş ve % 0.05-0.08 değerleri arasında kalmıştır.

Aluminyum

Daha çok kullanılan odun kömürü külünden ferrobora geçen alüminyum miktarı, şarjdaki sabit karbon oranının artması ile artmıştır. (Şekil 6.10). 1 nolu demir oksitin, 1 nolu odun kömürünün kullanıldığı, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44, sabit karbon miktarının % 12.35 olduğu şartlarda ferroborda alüminyum konsantrasyonu % 0.37 olurken, aynı malzemelerin kullanıldığı, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, şarjda sabit karbon miktarının % 13.6 olduğu şartlarda, % 0.55 olmuştur.



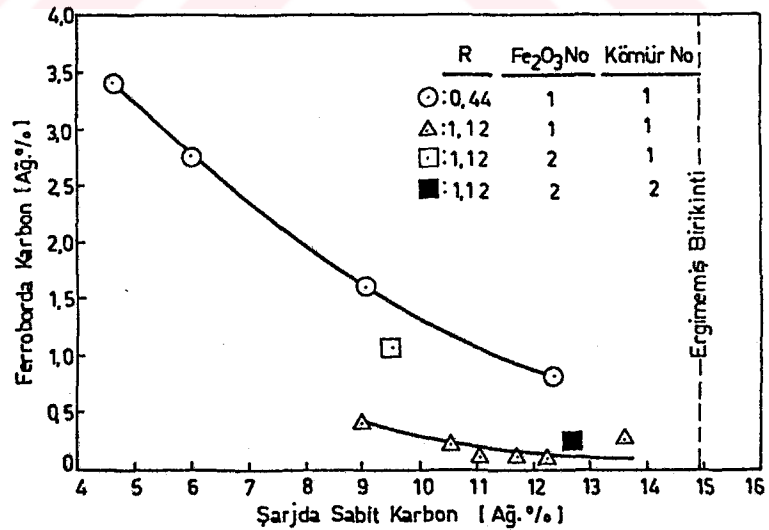
Şekil 6.10 Ferrobordaki Alüminyum Konsantrasyonunun Şarjdaki Sabit Karbon Miktarına Bağlı Olarak Değişimi
 $R=H_3BO_3/Fe_2O_3$

2 nolu demir cevheri ile 2 nolu kül miktarı düşük odun kömürünün hammadde olarak seçildiği, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, şarjdaki sabit karbon miktarının % 12.71 olduğu şartlarda, üretilen ferrobora

alaşımında alüminyum konsantrasyonu % 0.05 olarak gerçekleşmiştir.

Karbon

Ferrobordaki karbon içeriği şarjda bulunan sabit karbon miktarının artmasıyla azalmıştır (Şekil 6.11). 1 nolu demir oksidin ve 1 nolu odun kömürünün kullanıldığı, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44 olduğu şartlarda, şarjdaki sabit karbonun % 4.64 den % 12.35 arttırılması, ferrobordaki karbon konsantrasyonunu % 3.4 den % 0.8'e azaltmıştır. Aynı malzemeler ile ve H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12 olduğu şartlarda yapılan deneylerde, şarjdaki sabit karbon miktarının arttırılmasıyla, ferroborda karbon konsantrasyonu yine azalmış ve % 12.25 sabit karbon oranında % 0.12 olmuştur. 2 nolu demir cevherinin ve 2 nolu odun kömürünün kullanıldığı, H_2BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12, şarjda karbon oranının % 12.71 olduğu şartlarda üretilen ferrobordada karbon konsantrasyonu 0.27 olmuştur.



Şekil 6.11 Ferrobordaki Karbon Miktarının Şarjdaki Sabit Karbon Miktarına Bağlı Olarak Değişimi. $R = H_3BO_3/Fe_2O_3$

Kükürt

Üretilen ferrobor alaşımlarındaki kükürt konsantrasyonları, şarjdaki sabit karbon oranının değişimi ile değişmemiş ve en fazla 20 ppm seviyelerinde kalmıştır. Başlıca sebebi redüktant olarak seçilen odun kömürünün kükürt içeriğinin düşük olmasıdır.

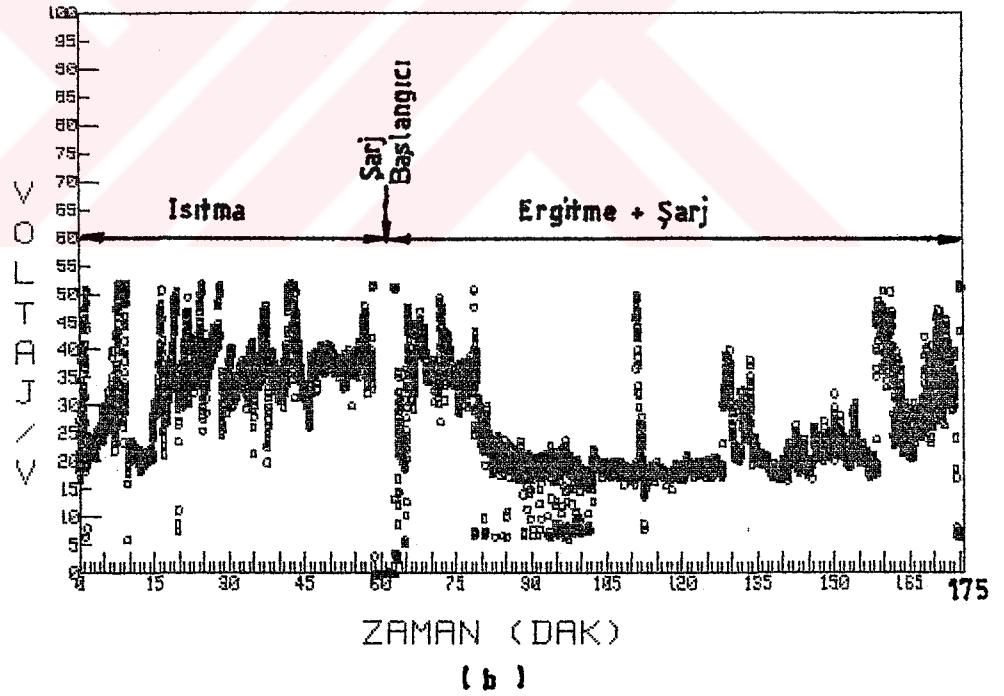
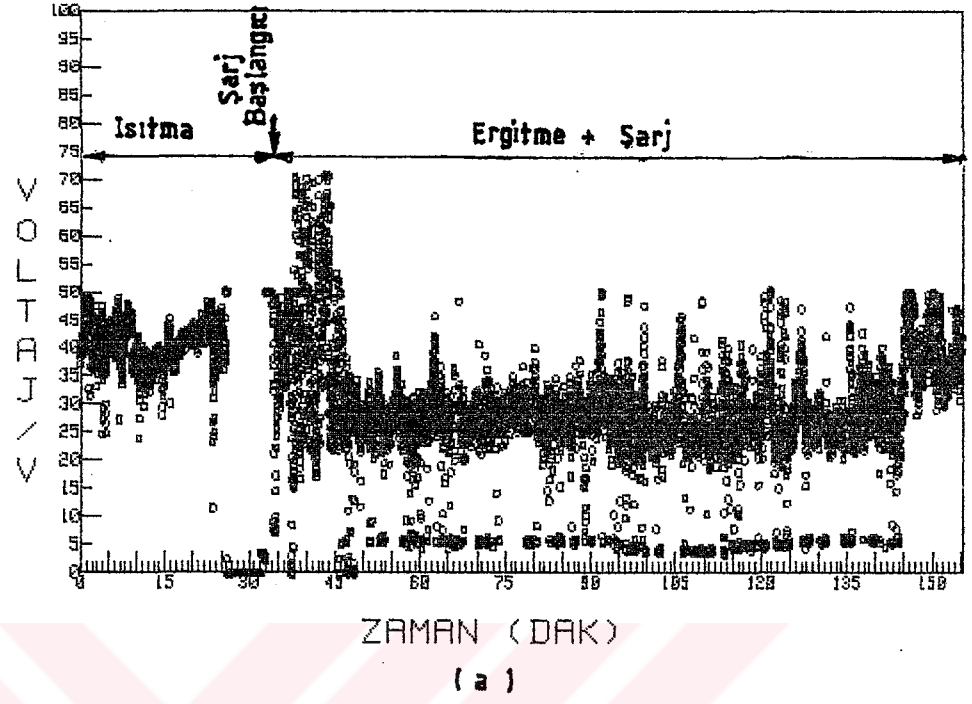
6.2.3. Elektriksel Karakteristikler

Yazılan program (Ek.C.1) ve kullanılan data toplama sistemi yardımıyla saniyede bir kaydedilmiş elektriksel bilgiler, ergitme esnasında oluşan olayları çözümleyebilmek için incelenmiştir. Toplanan voltaj ve akım değerleri kullanılarak fırına uygulanan reel güç, ortalama güç ve ark direnci hesaplanabilmiştir. Elektriksel data güç kaynağının çıkışından okunmuş, bakır uzatma kabloları ve elektrodlardaki kayıplar ihmal edilmiştir.

6.2.3.1. Voltaj Değerlerindeki Değişimler

Güç kaynağından fırına uygulanan voltajın zamana göre değişimi bir birinden çalışma rejimi bakımından farklı iki deney için Şekil 6.12 de verilmiştir. Her iki deneyde de H_3BO_3/Fe_2O_3 oranı 1.12 dir. Şekilde (a) bölümünde verilmiş değerler şarjda sabit karbon miktarının % 12.35, (b) bölümünde verilmiş değerler % 14.88 olduğu deneylere aittir. (a) bölümündeki değerlerin kullanıldığı şartlarda fırından metal alımında bir zorlukla karşılaşılmazken, (b) bölümünde verilen değerlerin uygulandığı şartlarda metal elde edilememiş, elektrod altında ergimemiş birikinti oluşmuştur.

(a) bölümünün incelenmesi ile görülebileceği gibi, ergitmenin ilk 10 dakikası hariç tutulursa, voltaj değerleri 20-35 V arasında salınmıştır. Bu salımlar esnasında voltajın 20 V'un altına düşmesi arkın kaybolmasına sebep olmuştur. Arkın kaybolması voltajın 5-8 V



Şekil 6.12. İki Farklı Deneyin Voltaj Değerlerinin Zamana Göre Değişimi.

arasında kalarak kısa devre oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Oluşan kısa devre sırasında yeterli ısı üretilemediğinden fırınının ısı dengesi bozulmaktadır. Bu yüzden arkın devamı için gerekli olan kritik voltaj değerleri son derece önemlidir.

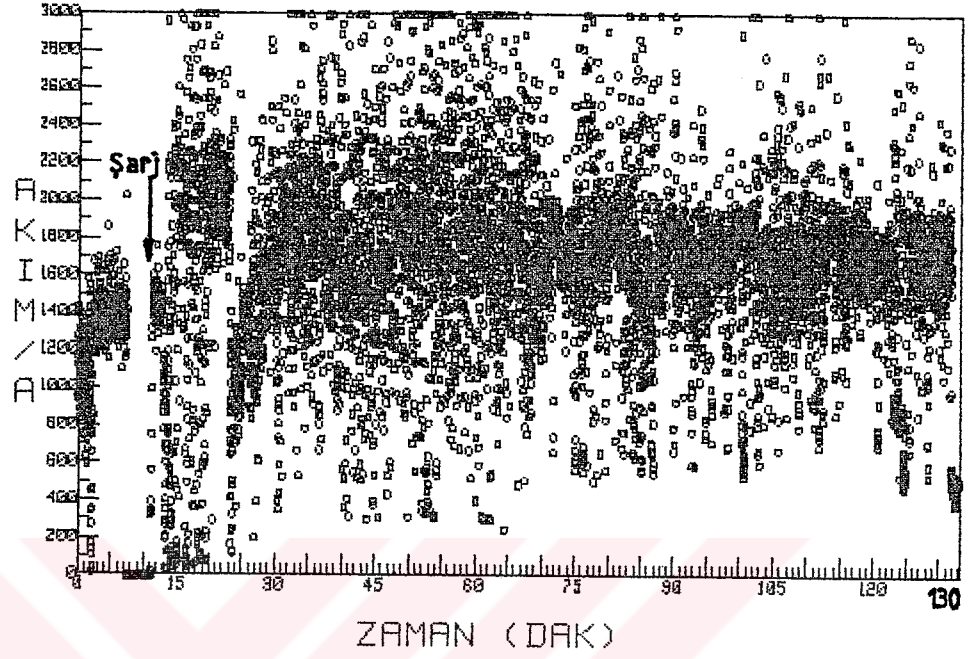
Voltajın 40-50 V gibi değerlere ulaşması şarjın yanmasına ve fırının üst bölgelerinin ısınmasına, dolayısıyla enerji tüketimi değerinin artmasına sebep olmaktadır.

Şarjın % 14.88 sabit karbon içerdiği deneye ait (b) bölümündeki değerlerin salınımı daha dar bir alanda kalmış ve 20 V civarında gerçekleşmiştir. Fırın içinden metal alabilmek amacıyla gücün yükseltilmesi nedeniyle son 18 dakika gerilim 45 V'a kadar arttırılmış, ancak sonuç alınamamıştır. Fırının soğumasından sonra yapılan incelemeler sonucunda, fırın tabanında ergimeden birikmiş bir faz bulunmuştur. Şarj içersindeki artan odun kömürü miktarı bu olayın sebebi olarak görülmüştür.

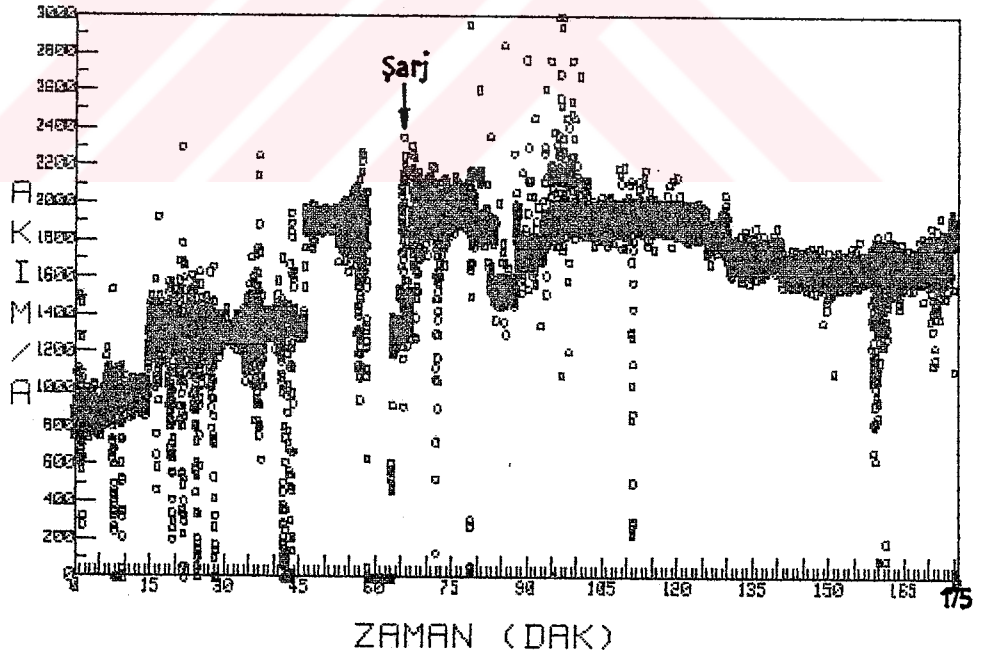
6.2.3.2. Akım Değerlerindeki Değişimler

Fırına uygulanan akımın zamana göre değişimi birbirinden çalışma rejimi yönünden farklı iki deney için Şekil 6.13 de verilmiştir. Bu deneylerdeki koşullar 6.2.3.1.de verildiği gibidir.

Metal üretimi ve dökümünün başarıldığı (Şekil 6.13.a) deneyde akım değerleri, zamana ve fırına uygulanan güce göre yoğun olarak 1600-2000 A arasında değişmiştir. Oysa metal yerine ergimemiş birikintinin oluştuğu deneye ait değerlerin verildiği Şekil 6.13.b.de akım salınımları nispeten daha dar bir alanda (1800-2000 A veya 1600-1800 A) oluşmuştur.



(a)



(b)

Şekil 6.13. İki Farklı Deneyin Akım Değerlerinin Zamana Göre Değişimi.

6.2.3.3. Reel Güç Değerlerindeki Değişimler

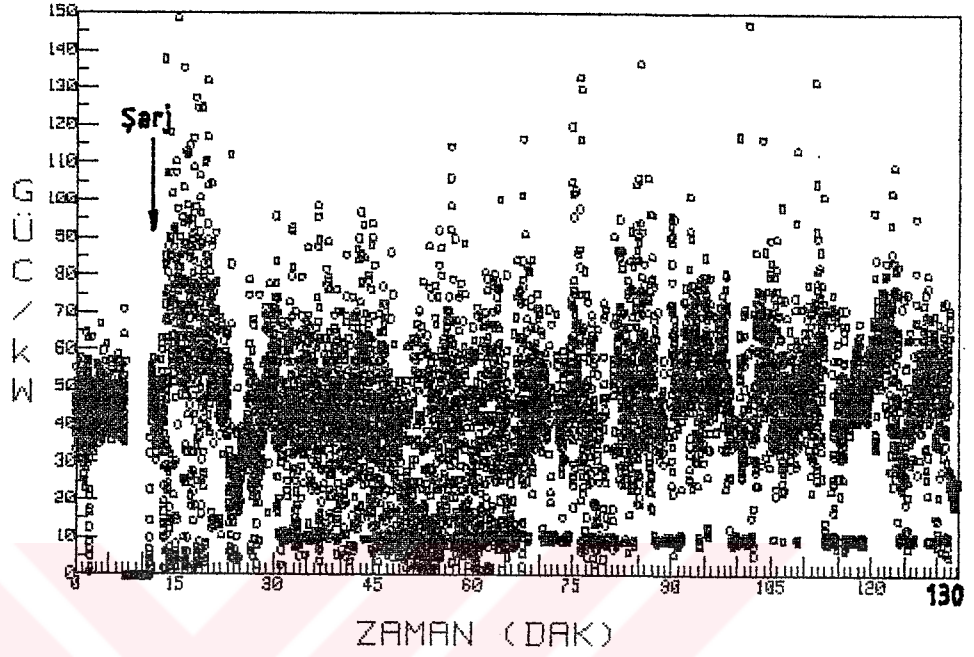
Yazılan program yardımı ile, güç kaynağından fırına uygulanan voltaj ve akım değerleri,

$$\text{Reel Güç} = \text{Voltaj} \times \text{Akım}$$

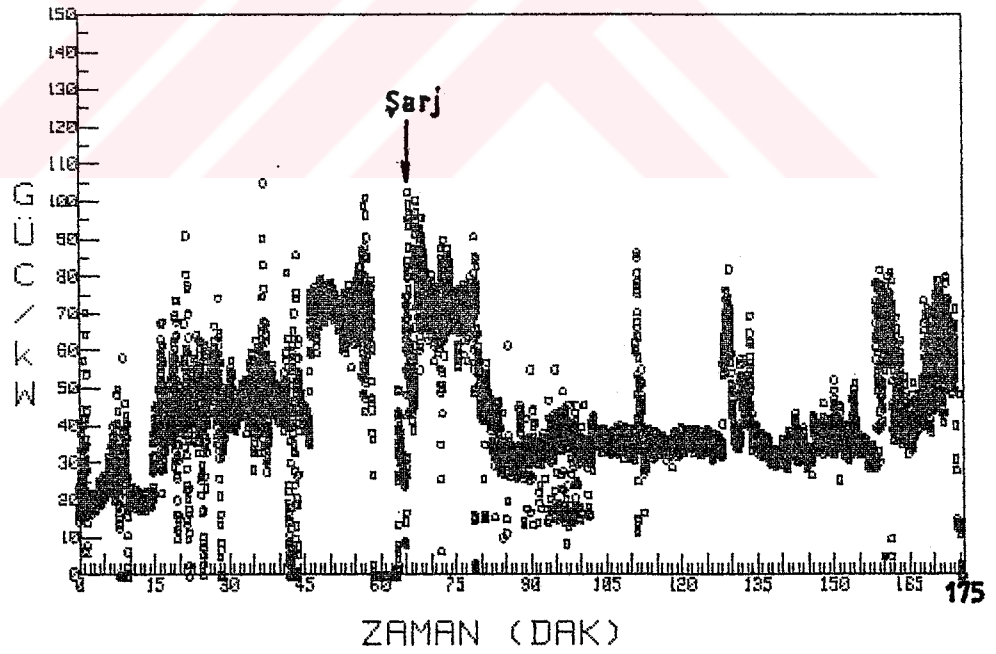
eşitliği kullanılarak reel güç değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır (Şekil 6.14). Yine program kullanılarak fırına uygulanan ortalama güç ve tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Tablo 6.1).

Şarj içindeki sabit karbon miktarının % 12.25 olduğu metal üretim ve dökümünün sorunsuz olarak gerçekleştiği deneye ait (a) bölümündeki güç değerleri yoğun olarak 35-55 kW arasında salınırken, ergimemiş birikintinin olduğu deneye ait güç değerlerinin verildiği (b) bölümünde salınımlar 30-40 kW arasında dar bir aralıkta kalmıştır. (b) bölümündeki deneyin sonlarına doğru, sıvı metal alabilmek amacıyla fırına verilen gücün bir miktar arttırılması beklenen faydayı sağlamamıştır.

Fırına şarjın beslenmeye başladığı andan, döküm anına kadar geçen sürede harcanan toplam reel gücün, bu geçen süreye bölünmesiyle hesaplanan matematiksel ortalama güç değerleri ve bu güç değerlerinin kullanılması ile elde edilen, üretilmiş ferrobordaki kilogram bor başına enerji tüketim değerleri ark fırınında yapılmış bütün ergitme deneyleri için Tablo 6.1 de verilmiştir. Üretilen metal ağırlık ve konsantrasyonları ile, deney süreleri Ek Tablo B2 ve B3 de verilmiştir. Tablo 6.1 den görülebileceği gibi bütün deneylerde aynı ortalama gücün fırına uygulanmasına çalışılmıştır. Böylece ortalama gücün kullanılması ile hesap edilebilen enerji tüketim değerleri kıyaslanabilir olmuştur.



(a)



(b)

Şekil 6.14 İki Farklı Deneyde Fırına Uygulanan Reel Gücün Zamana Bağlı Olarak Değişimi.

Tablo 6.1. Ark Fırınında Ergitme Deneylerinde Kullanılan Ortalama Güç ve Enerji Tüketim Değerleri.

H_3BO_3 R= ——— Fe_2O_3	Şarjda Odun Kömürü, Ağ. %	Şarjda Sabit Karbon, Ağ. %	Ortalama Güç , kW	Enerji Tüketimi , kWh/kgB
0.44 (*)	5.41	4.64	36.40	360.15
	7.87	6.01	30.52	165.61
	13.47	9.05	35.86	83.15
	19.54	12.35	39.78	54.22
1.12 (*)	13.84	3.01	41.19	38.54
	17.24	10.54	40.79	46.50
	17.69	11.04	40.61	40.42
	18.89	11.67	40.09	35.35
(***)	20.00	12.25	35.34	56.34
	20.00	12.25	40.30	35.74
(****)	20.00	12.25	40.72	35.13
	22.51	13.58	45.60	37.58
	25.00	14.88	43.51	--
1.12 (**)	14.93	9.51	22.40	97.16
(****)	15.17	12.71	43.39	39.97

* : Tablo 5.1, 1 nolu demir oksit

** : Tablo 5.1, 2 nolu demir cevheri,

*** : Deney Süresi 1 saattir.

**** : Deney Süresi 4 saattir.

6.2.3.4. Direnç Değerlerindeki Değişimler

Fırına uygulanan voltaj ve akım değerlerini okumak ve depolamak amacıyla yazılan bilgisayar programı,

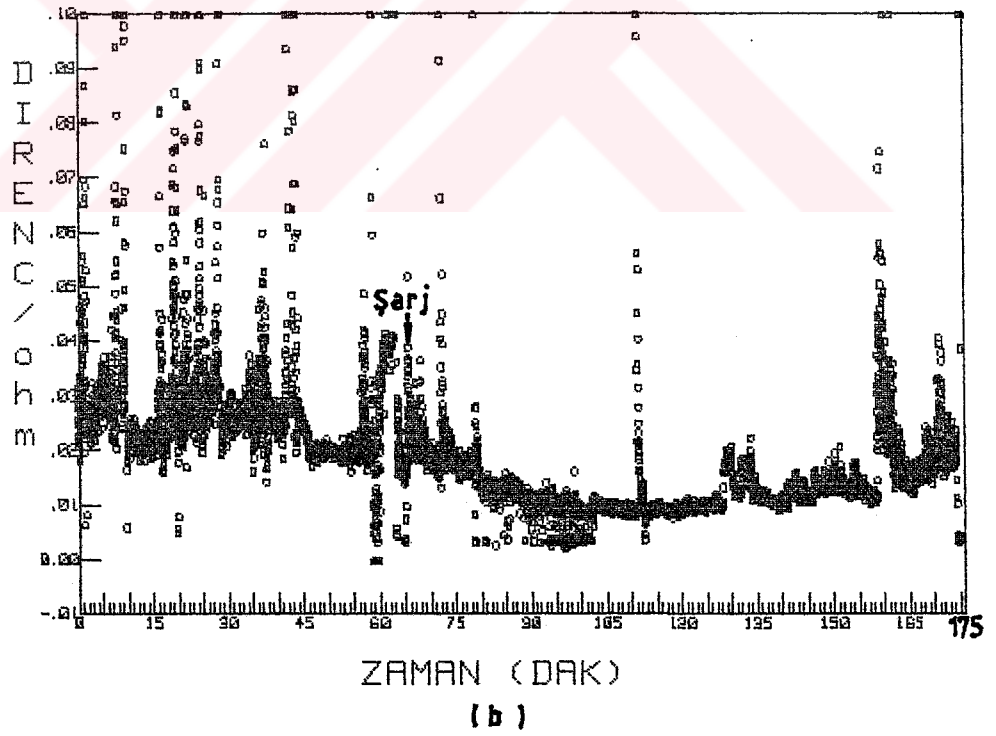
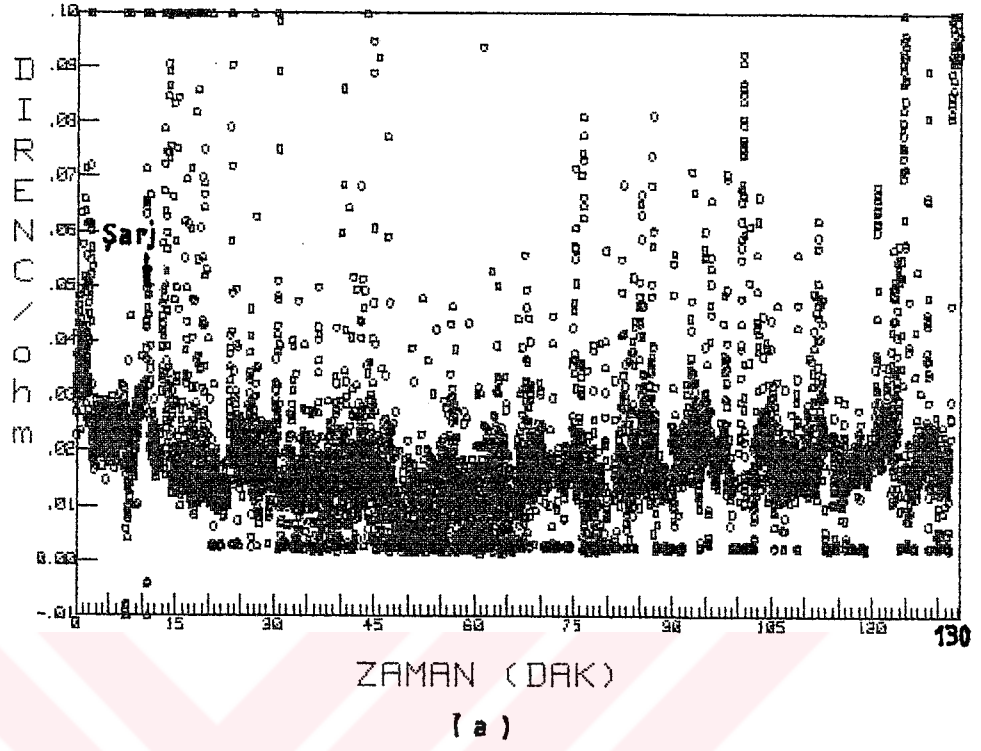
$$\text{Direnç} = \text{Voltaj/Akım}$$

eşitliğinden yararlanarak ortam direncinin belirlenmesi amacıyla da kullanılmıştır. İki farklı deney için direnç zaman ilişkisi Şekil 6.15 de verilmiştir. Her iki deneyde de $\text{H}_3\text{BO}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ oranı 1.12 olarak seçilmiştir. Şarj içersindeki sabit karbon miktarının % 12.25 olduğu, (a) bölümünde, metal oluşumunun gerçekleştiği şartlardaki elektrodlar arası direnç 0.015-0.025 ohm arasında değişirken, sabit karbon miktarının % 14.88 olduğu, metal yerine ergimemiş birikintinin olduğu şartlarda ise direnç 0.010 ohm da sabit kalmıştır.

Sonuç olarak ergimemiş birikintinin olduğu şartlar direncin düşük olduğu durumla karakterize olmaktadır.

6.2.4. Elektrod Hareketi ve Tüketimi

Deneylerde üst elektrodun hareketi optik okuyuculu hassas bir cetvel ile okunarak kaydedilmiştir. Şarja ilave edilen odun kömürü miktarına bağlı olarak üst elektrodun aşınma hızı ve tüketiminde görülen değişim Tablo 6.2 de verilmiştir.



Şekil 6.15 İki Farklı Deneyin Direnç Değerlerinin Zamana Bağlı Olarak Değişimi.

Tablo 6.2. Elektrod Tüketimi ve Hareketi.

$R = \frac{H_3BO_3}{Fe_2O_3}$	Şarjda Odun Kömürü, %	Şarjda Sabit Karbon, %	Elektrod Tüketimi ve Hareketi		
			g/kg metal	cm/saat	Yön
0.44 (*)	5.41	4.64	264.8	12.8	Aşağı
	7.87	6.01	134.2	6.1	Aşağı
	13.47	9.05	183.8	6.3	Aşağı
	19.54	12.35	81.2	3.4	Yukarı
1.12 (*) (***) (****)	13.84	9.01	92.4	5.2	Aşağı
	17.24	10.54	135.3	6.0	Aşağı
	17.69	11.04	131.7	6.7	Aşağı
	18.89	11.67	83.6	4.1	Aşağı
	20.00	12.25	154.3	4.6	Aşağı
	20.00	12.25	102.5	4.7	Aşağı
	20.00	12.25	115.9	6.0	Aşağı
	22.51	13.58	135.0	9.0	Aşağı
	25.00	14.88	Metal Yok	7.32	Yukarı
1.12 (**) (****)	14.93	9.51	89.4	2.62	Aşağı
	15.17	12.71	120.5	7.10	Aşağı

* : Tablo 5.1, 1 nolu demir oksit

** : Tablo 5.1., 2 nolu demir cevheri.

*** : Deney süresi 1 saattir

**** : Deney süresi 4 saattir

Ark esnasında hassas cetvel kullanılarak yapılan ölçümler, üst elektrodun ark yapan ucunun fırın tabanında biriken metalden uzaklığı 2.7 ile 5.0 mm arasında değiştiğini göstermiştir.

Elektrod hareketi metal veya ergimemiş faz oluşumuna göre iki farklı karakteristik hareket göstermiştir.

a) Aşağı doğru hareket:

Şarj ile dolu fırına daldırılmış olan üst elektrodun aşınma hızı, metalin banyoda toplanma hızından daha yüksek olmuş ve bu yüzden elektrod sürekli olarak aşağıya doğru itilmiştir.

b) Yukarı doğru hareket :

Ergimemiş faz oluşumu ise elektrodun yukarıya doğru çekilmesini gerektirmiştir.

H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44 olduğu şartlarda % 19.54 odun kömürü ilavesi ile oluşan ve metal fazı üretilmesini zorlaştıran ergimemiş faz oluşumu; H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12 olduğu şartlarda % 25 odun kömürü ilavesi ile oluşmakta ve fırından metal alımını tamamiyle önlemektedir. Her iki durumdada ergimemiş faz oluşumu ve birikmesi sebebiyle elektrod hareketi yukarı doğru olmuştur.

Fırın tabanında metal fazının oluştuğu diğer bütün deneylerde ise üst elektrod hareketi, Tablo 6.2 den görülebileceği gibi her zaman aşağıya doğru olmuştur. Elektrod tüketim miktar ve hızları arasında herhangi bir korelasyon bulunamamıştır.

Deneyden sonra üst elektrodun ark yaptığı ucunun incelenmesi, elektrodun yanlardan değil sadece uçtan aşındığını kanıtlamıştır.

6.2.5. Fırın Sütununda ve Üst Elektrod Altında Gelişen Olaylar

Ark fırınında ferrobor üretim koşullarının optimizasyonu için yapılan ergitme işlemleri sonucunda, her deneyde üst elektrod yukarı çekilerek ark durdurulmuş, fırın potası soğumaya terk edilmiştir. Soğuma işleminden sonra fırın içersindeki sinterleşmiş şarj, farklı sektörlerden numune alınarak analiz edilmiştir. Sektörler fırın yüksekliğinin eşit parçalara bölünmesi ile belirlenmiş ve Şekil 6.16 da

bilgisayar ve data toplama sistemine bağılı 4 adet termokuplı ile grafit astar dışından ölçülen sıcaklık değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Reaksiyon gazlarını taşıyan ve yaklaşık 1040°C sıcaklıkta üst elektrod etrafından fırını terkeden fırın gazlarının büyük oranda CO içerdiği ölçülmüştür.

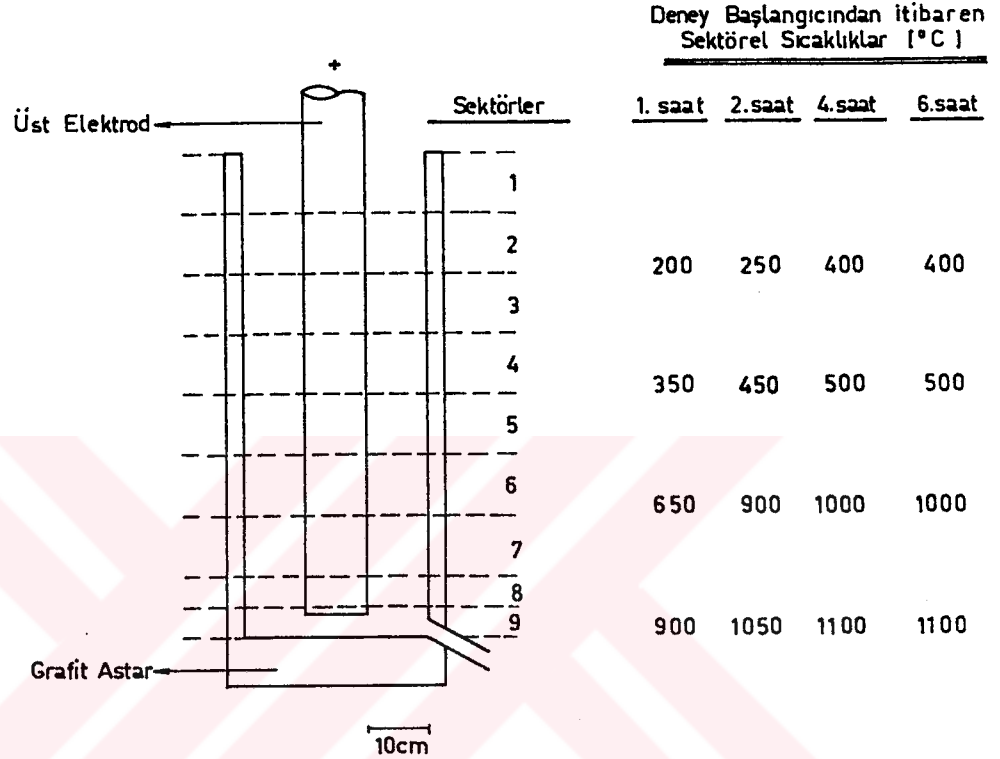
Ergimiş alaşımın metal alma deliğinden alınması esnasında optik pirometre ile sıcaklığı ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık alaşımdaki bor konsantrasyonunun artması ile artmıştır. % 7.64 B içeren alaşım 1380°C da, % 16.3 B içeren alaşım 1565°C de, % 18 B içeren alaşımda 1655°C da fırından alınmıştır.

6.2.5.1. X-Işınları Analizleri ile Sektörlerin Karakterizasyonu

Sektörlerden alınan numuneler X-ışınları ve kimyasal analiz yöntemleri ile incelenmiştir.

H₃BO₃/Fe₂O₃ oranının 0.44 ve şarjda sabit karbon miktarının % 4.64 olduğu şartlarda, sadece demir redüklenebilmiş, bor ise oluşan derin curuf fazı içersinde kalmıştır. Bu deneyde oluşan bileşiklerin sektörel dağılımı Tablo 6.3 de verilmiştir. 8 sektörden itibaren oluşmaya başlayan demir, % 15 bor içeren derin curuftan bir miktar boru (% 1.55) bünyesine alarak fırın tabanında toplanmıştır (Ek Tablo B.3).

Şarjdaki sabit karbon miktarının % 14.88 e çıkarılma durumunda 5. sektörde demir, 7. sektörde de Fe₂B ve FeB oluşmaya başlamaktadır. (Tab-lo 6.4). Ancak fırın tabanı ile üst elektrod ucu arasında ergimemiş birikintinin oluşması metal fazı eldesi ve fırından alınmasını engellemiştir. Bu ergimemiş birikintiyi çevreleyen sinter fazlarının analiz sonuçları Tablo 6.4 de 8 ve 9 sektörlerde verilirken, ergimemiş birikintinin ken-disi Tablo 6.5 de incelenmiştir.

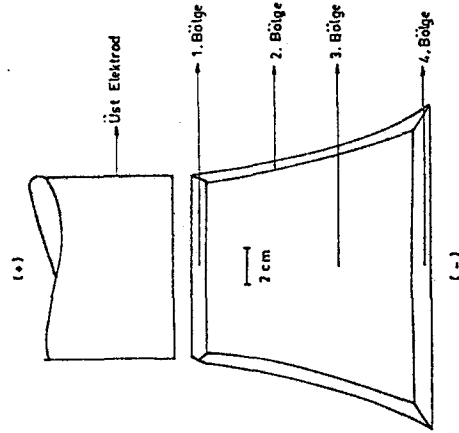


Şekil 6.16 Ark Fırını Potasından Numune Alınan Sektörler ve Sıcaklıları.

Tablo 6.5.den görülebileceği gibi, ergimemiş birikintinin alt kısmında nispeten düşük karbon, yüksek bor konsantrasyonlu ferrobor mevcuttur. Ancak % 14"C" içeren 3. bölgedeki demir, bor, karbon, silisyum dan oluşan ergimemiş birikinti, metalik kısımları bünyesinde hapsetmiş ve metal fazının fırın dibinde birikmesini engellemiştir. Bu bölgede karbon veya karbür halinde birikmenin olması, ark direncini düşürmektedir. Bu yüzden sıvı ferrobor üretiminin amaçlandığı şartlarda, şarjda sabit karbon içeriği % 14.88 den az olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Tablo 6.5. Ergimemiş Birikintinin Bölgesel X-ışını ve Kimyasal Analiz Sonuçları.

Oluşan Bileşikler ve B, C, Si Konsantrasyonları										
FeB	Fe ₂₃ P ₆	(Fe,C)	C ₁₂ Fe ₃₁ Si ₂	Fe ₃ Si	Fe Si	SiC	Al ₂ O ₃ SiO ₂	B(Ağ %)	C(Ağ %)	Si(Ağ %)
+			+			+		10.33	10.9	4.01
+		+		+	+		+	16.62	0.27	4.21
+	+		+	+				14.98	14.0	4.71
+		+		+			+	21.16	1.9	3.95



Sektörler	7	8	9
-----------	---	---	---

Metal üretiminin maksimum bor konsantrasyonu ve minimum enerji tüketimi ile başarıldığı deneyin, sektörel incelenmesiyle elde edilen X-ışını ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 6.6.da verilmiştir. Bu tablodan görülebileceği gibi fırının 1. ve 2. sektörlerinden itibaren borik asit, su kaybederek kısmen B_2O_3 ve HBO_2 gibi bileşiklere dönüşmekte, hematit de manyetite redüklenmektedir. Aynı anda $FeO.B_2O_3$, $FeO.2B_2O_3$ gibi bileşikler oluşmaya başlamaktadır. Oluşan demirboratlar, şarj içinde mevcut odun kömürü taneleri ile birlikte fırının sıcak bölgelerine doğru akmıştır. Odun kömürü külünden gelen silis de demir boratlarla birlikte sıcak bölgelere inerken SiO şeklinde uçmuş, SiC ve Fe_3Si oluşturmuştur. Curuf olarak adlandırılacak demir borat bileşiklerinin üst elektrodun ark ucuna gelmesiyle bor ve demir aynı anda redüklenerek ferrobor oluşturmuştur. 7. ve 8. sektörde verilen kimyasal analizlerin incelenmesi bu sonucu doğrulamaktadır. 1 ile 7. sektör arasında sektörlerin bor içeriği yaklaşık % 9-10 iken 8. sektörde bu konsantrasyon % 21'e artmaktadır. Daha üst bölgelerde redüklenen demirin de bu bölgede birikmesi bor miktarının bir miktar seyrelmesine sebep olmuştur. Karbon tüketiminin en fazla olduğu sektörler de yine bu redüksiyon bölgeleridir.

Oluşan tüm bileşiklerin kart numaraları Ek Tablo D.1 de verilmiştir.

6.2.5.2. Sektörlerde Fe, B, Si ve C Elementlerinin Dağılımı

Sektörlerde biriken sinter ağırlıkları ve kimyasal analizleri kullanılarak, kütle dengeleri kurulmuştur. Silisyum ve demir elementlerinin metalde, sektörlerde ve gaz fazına dağılım oranları hesaplanabilmiştir. Bu hesaplamalara örnek olarak, Ek Tablo B2 ve B3 de verilen 10.99 nolu deneyin koşulları ve sonuçları kullanılmıştır. Tablo 6.7 bu hesaplamaların sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 6.6. H_3BO_3/Fe_2O_3 Oranının 1.12, Şarjda Sabit Karbon Miktarının % 12.25 Olduğu
Şartlarda Oluşan Bileşikler ve Sektörlerin Kimyasal Analizleri

Sektörler	Bileşikler													Kimyasal Analizler [Ağ. %]						
	H ₃ BO ₃	B ₂ O ₃	HBO ₂	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	C	Fe(BO ₂) ₂	FeB ₄ O ₇	SiO ₂	SiO	SiC	Fe	Fe ₂ B	FeB	Fe ₃ Si	(Fe,C)	B	C	Si	Fe
1	+	+		+	+	+	+	+	+		+						9.55	12.80	1.45	28.13
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+						8.9	21.96	1.75	28.78
3		+	+	+	+	+	+	+	+						+	+	8.99	24.82	2.43	28.07
4			+	+	+	+	+	+	+	+	+						8.45	23.70	2.61	31.61
5			+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	8.45	23.70	2.61	31.61
6			+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	9.73	14.92	2.58	27.36
7						+	+	+	+					+			9.81	14.94	5.70	31.25
8														+	+	+	20.91	4.90	4.48	65.71
9														+	+	+	17.91	0.21	4.21	74.90

Tablo 6.7 . Şarjdaki Bileşenlerin Sektörlere Göre Dağılımı.

Sektörler	Malzeme Ağırlığı (g)	Dağılım (%)			
		B	C	Si	Fe
1	12211	13.78	7.70	9.12	11.11
2	3727	3.92	4.03	3.36	2.47
3	4316	4.59	5.27	5.40	3.92
4-5	3379	3.37	3.94	4.54	3.45
6	2137	2.46	1.57	2.84	1.89
7	2213	2.57	1.63	6.49	2.24
8	5004	12.36	1.21	11.54	10.63
1-8	32987	43.05	25.35	43.29	36.71
9	26102	55.25	0.27	56.56	63.21
1-9	59089	98.30	25.62	99.85	99.92

Bu sonuçlara göre fırına şarj edilen borun % 43.05 i sinterde % 55.25 i ferroborda kalırken % 1.70 i gazlarla fırın dışına taşınmaktadır. Şarja katılan odun kömürü, tahta talaşı ve tamamı sabit karbon olarak kabul edilen elektrod malzemesinden elde edilen sabit karbonun % 25.35 i sinter sektörlerinde, % 0.27 si metalde kalırken, % 74.38 i redüksiyon reaksiyonları esnasında tüketilmiştir. Kullanılan demir oksit ve odun kömürü külünden şarja geçen silisyumun % 43.29 u sinterde kalırken % 56.56 sı metalde kalmış, % 0.15 i ise gazlarla birlikte fırın dışına taşınmıştır. Şarjdaki demir oksitden ve odun kömürü külünden gelen demirin % 63.21'i metale geçerken, % 36.71'i sinterde kalmış, % 0.08'ide gazlarla birlikte fırın dışına taşınmıştır.

4 saatlik deneye ait olan bu sonuçlara göre deney süresinin ilerlemesi ile sinterdeki pay aynı kalırken metale geçen payın artacağı aşikardır.

7. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

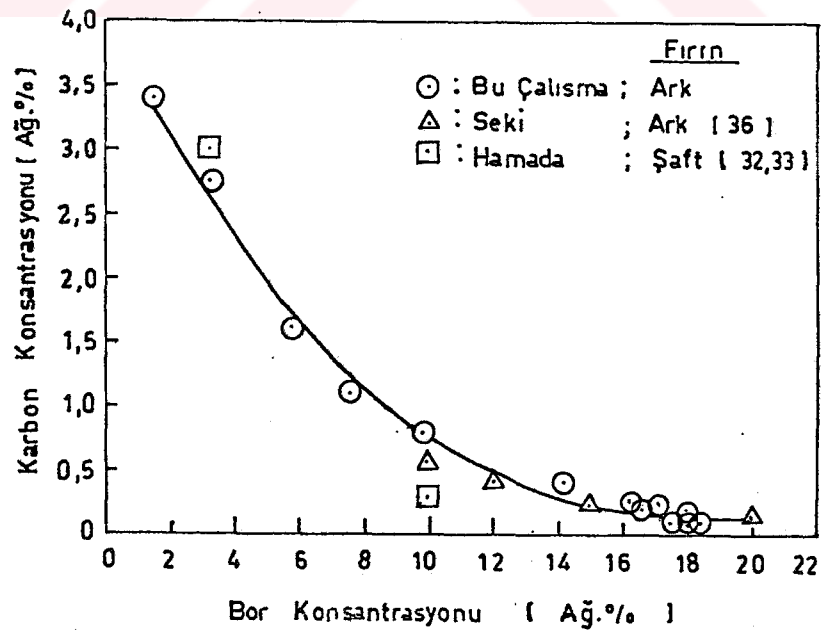
Borik asit, demir oksit, odun kömürü ve tahta talaşı kullanılarak, ark fırınında yapılan ergitme deneyleri sonucunda, ferrobor üretim parametreleri, hammadde cinsi ve şarjdaki miktarları, enerji ve elektrod tüketim değerleri ve elektriksel karakteristikler olarak belirlenmiştir. Proses ekonomisinin en iyi olduğu şartlar optimum şartlar olarak kabul edilerek değerlendirilmiştir. Hammadde seçimi ve karıştırılma oranları doğrudan ferrobor bileşenlerinin konsantrasyonlarına etki etmiştir. Ferrobor üretiminde tüketilen enerji, alaşım konsantrasyonu ile doğrudan ilgilidir. Üretim esnasında oluşan elektriksel karakteristiklerde yine başlangıç şarj bileşimi ile değişmektedir.

7.1. Ferroborda Bor Konsantrasyonları İle Enerji Tüketim Değerleri Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi

Ferroborda bor konsantrasyonu, başlangıç şarj harmanı içinde borik asit ve odun kömürü miktarının artması ile artmaktadır. Ancak şarjdaki odun kömürü miktarının belli oranların üzerine çıkması fırın tabanında metal toplanmasını engellemekte, metal yerine ergimemiş birikintinin oluşup büyümesine sebep olmaktadır. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44, şarjda odun kömürü miktarının % 19.54 (= % 12.35 sabit karbon) olduğu şartlarda oluşmaya başlayan bu durum metal üretimi ve fırından alımını fiziki olarak zorlaştırmıştır. Bu şartlarda üretilen ferrobor % 9.87 B içermiştir. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12'ye arttırılması, şarj içindeki odun kömürü miktarının, fırının fiziki şartlarını bozmadan bir miktar daha arttırılabilmesini sağlamıştır. Bu durumda, şarja ilave edilen odun kömürü miktarının % 20 (= % 12.25 Sabit karbon) civarına arttırılması, alaşımdaki bor konsantrasyonunu % 18'e çıkartarak DIN 17567, FeB 17 C standardına uygun ferrobor üretilmesini mümkün kılmıştır (Ek Tablo A1). Şarj içindeki odun kömürü miktarının % 25'e (= % 14.88 sabit karbon) arttırılması ise fırın tabanında metal yerine ergimemiş birikintinin oluşmasına sebep olmuştur.

Ergimemiş birikintinin kimyasal ve X-ışınları analiz teknikleri ile incelenmesi, bu birikintinin FeB, Fe₃Si gibi metalik fazlar yanı sıra % 14 C içerdiğini göstermiştir. (Tablo 6.5). Seki [36] tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak, bu birikintide B₄C ye rastlanmamıştır. Ayrıca karbon konsantrasyonu da Seki'nin bulduğu % 36.4 değerinden oldukça düşük gerçekleşmiştir.

Ferroborda bor konsantrasyonunun, fiziki şartların izin verdiği ölçüde arttırılması, alaşımda mevcut karbon konsantrasyonunu da düşürmektedir. Alaşımdaki karbon konsantrasyonunun, bor konsantrasyonu ile değişiminin gösterildiği Şekil 7.1 de Hamada [32,33] ve Seki[36] tarafından yapılan benzer çalışmaların sonuçları da verilmiştir. Görüldüğü gibi ferroborda bor konsantrasyonunun % 1.55 den % 20 ye arttırılması karbon konsantrasyonunu % 3.40 dan % 0.15 e düşürmektedir. Bu yüzden yaklaşık % 3 bor içeren metalik cam başlangıç malzemesinin karbotermik yöntemle direkt olarak üretilmek istenmesi durumunda, alaşımda yaklaşık % 3 karbon olacaktır ve kullanım sınırlarını aşacaktır. Bu şartlarda gerekecek bir dekarburizasyon işleminde karbona benzer termodinamik özellikler gösteren bor da kaybolacak ve maliyetler artacaktır.

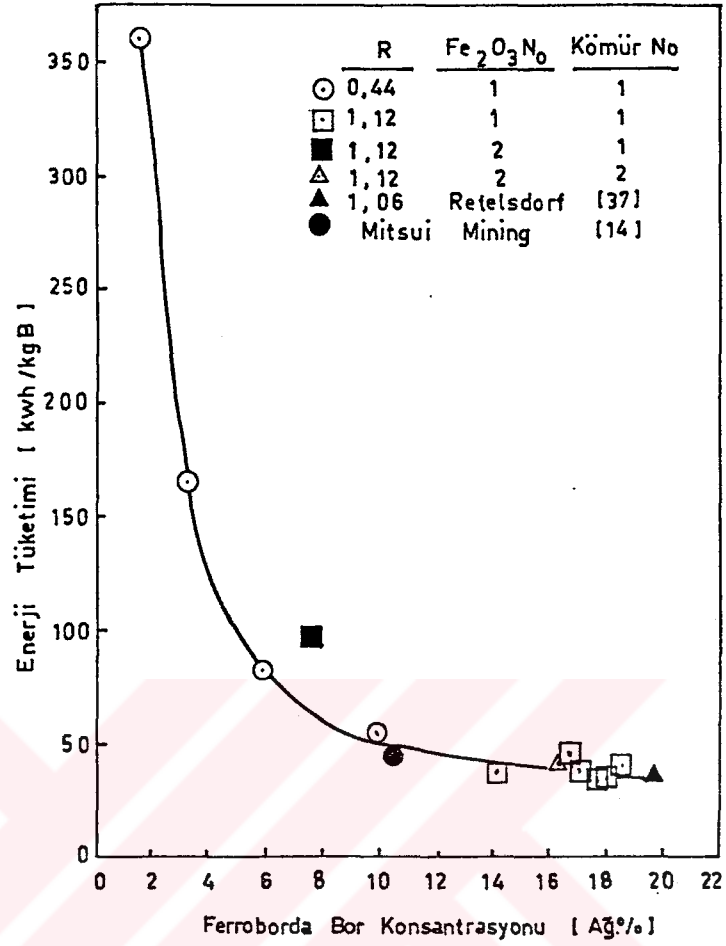


Şekil 7.1. Ferroborda Karbon Konsantrasyonunun, Bor Konsantrasyonu ile Değişimi.

Ferroborda bor konsantrasyonunun % 18 e çıkartılması, karbon konsantrasyonu % 0.2 e düşürmesi yanısıra, enerji tüketim değerinde 35.13 kWh/kg B'e düşürmektedir. Ferrobordaki bor miktarına bağlı olarak, üretim esnasında harcanan elektrik enerjisi tüketimindeki değişim Şekil 7.2 ve 7.3 de gösterilmiştir. Şekil 7.2 den görülebileceği gibi, ferroborda bor konsantrasyonu arttıkça, üretilmiş alaşımdaki kilogram bor başına harcanmış elektrik enerjisi azalmaktadır. Alaşımdaki bor konsantrasyonu-nun % 2 den % 10 a kadar arttırılması enerji tüketim değerini 300 den 50 kWh/kg B a düşürmektedir. Bu durumda konsantrasyondaki % 1 lik artış enerji tüketimini ortalama 31.25 kWh/kgB düşürmektedir. Bor konsantrasyonunun % 20 ye çıkarılması durumunda ise alaşımdaki kg B başına harcanan elektrik enerjisi değeri yaklaşık 35.5 kWh olmaktadır. Bu şartlarda da konsantrasyondaki % 1 lik artış elektrik enerjisi tüketimini 1.45 kWh/kgB kadar azaltmaktadır.

4 saatlik deney sonuçlarının da verildiği Şekil 7.3 den görülebileceği gibi H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12 olduğu şartlarda farklı demir oksit cinsi kullanımı enerji tüketim değerlerini fazla değiştirmemiştir. Bu şartlarda yapılan deneylerin büyük çoğunluğunda kg B başına tüketilen elektrik enerjisi değeri 35-40 kWh olarak bulunmuştur. Bu değerler Literatürde verilen değerler ile uyumludur.

Bu irdelemelerin ışığında, her ne amaç için kullanılacak olursa olsun, üretilen ferrobora alaşımdaki bor konsantrasyonunun, fırının fiziki şartlarının izin verdiği en yüksek değerde tutulması, ekonomik bir zorunluluk olmaktadır. Bu yüzden bir sinter sütununun oluşturulamadığı ve dolayısıyla bor oksitin geri döndürülemediği Tammann fırını gibi fırınların kullanımı istenen faydayı sağlayamamaktadır. Ferrobora üretiminde daha yüksek bor konsantrasyon ve verim değerlerine ancak sıvı metal üzerinde daha soğuk malzemelerin bulunması durumunda ulaşılabilmektedir. Fırının sıcak bölgelerini, yükselen buhar basıncı nedeniyle terkeden boroksit sürekli beslenen soğuk şarj yardımıyla fırın içinde tutulabilmektedir. Bu nedenle kullanılan şaft tipi daldırılmalı elektrik ark fırını ferrobora üretiminde tatmin-kâr sonuçlar vermiştir.

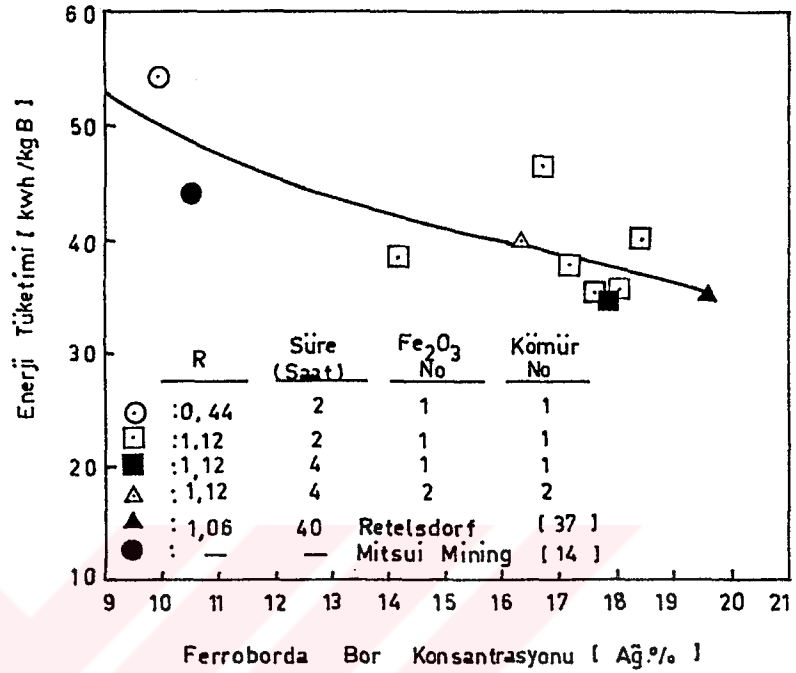


Şekil 7.2. Bor Konsantrasyonu ile Enerji Tüketiminin Değişimi. $R = H_3BO_3/Fe_2O_3$

7.2. Hammadde Seçiminin Etkisinin İrdelenmesi

Ferrobör üretiminde hammadde olarak kullanılan, demir oksit ve redüktant olarak seçilen odun kömürü cinsleri ferrobörün bor, silisyum ve empürite konsantrasyonları üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Bu çalışmada, 6.80 m²/g yüzey alanına sahip, pigment kalitesinde demir oksit (No.1) ile 1.95 m²/g yüzey alanına sahip silisyum, mangan ve krom içeriği daha düşük demir cevheri (No.2) kullanılmıştır. Her ikisinde de bakır, nikel ve kobalt içerikleri hemen hemen aynıdır (Tablo 5.1).



Şekil 7.3. Farklı Sürelerde Üretilmiş Ferrobor Alaşımlarının Bor Konsantrasyonları ile Enerji Tüketim Değerleri Arasındaki İlişki. $R = H_3BO_3/Fe_2O_3$.

Şarjda H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının, sabit karbon miktarının, fırına besleme ve fırından metal alma hızlarının aynı olduğu şartlarda daha ince tane boyutuna sahip 1 nolu demir oksit kullanımı, daha büyük tane boyutuna sahip demir cevherine göre kg B başına enerji tüketimini bir miktar (40 dan 35.13 kWh/kgB'a) azaltırken, ferrobora geçen bor miktarını da bir miktar (% 16.3 den % 18.0'a) arttırmıştır. (Şekil 7.2 ve Şekil 6.4). An-cak 1 nolu demir oksitin kullanımı bu şartlarda ferroborun % 1.5 Mn içermesine sebep olurken, 2 nolu demir cevherinin kullanımı ferroborda manganez konsantrasyonunu % 0.7 ye düşürmüştür. Benzer düşüş krom konsantrasyonlarında da gözlenmiştir ve krom % 0.20'den % 0.05'e azalmıştır. Yine 2 nolu demir cevheri kullanımı üretilen ferrobor alaşımındaki nikel ve bakır konsantrasyonlarını çok az da olsa azaltmıştır.

Ferrobora, büyük oranda redüktant olarak kullanılan odun kömürünün külünden geçen silisyum ve alüminyum miktarı şarjda sabit karbon miktarını arttırmak amacıyla, odun kömürü miktarının arttırılması ile artmaktadır (Şekil 6.5 ve 6.10). Bu elementlerin ferroborda içindeki artışı, mümkün olduğunca düşük kül içeren 2 nolu odun kömürünün kullanımı ile önlenmiştir. 2 nolu demir cevherinin kullanıldığı şartlarda redüktant olarak 2 nolu odun kömürünün seçilmesi ferroborda silisyum konsantrasyonunun % 0.7, alüminyum konsantrasyonunun % 0.05 olması ile sonuçlanmıştır.

Odun kömürünün redüktant olarak seçimi, ferrobordaki kükürt içeriğinde ppm seviyelerinde kalmasını sağlamıştır.

Yüksek kalitede silisyum metali üretmek için yapılan bir çalışmada, benzer sebeplerden dolayı, odun kömürü üretiminde, düşük kül içeriği, yüksek yapısal mukavemet ve yüksek redüksiyon reaktivitesi sağlaması nedeniyle okaluptus ağacı kullanılmıştır [54].

Magnetik malzeme ve metalik sac gibi yüksek teknoloji malzemelerinin üretiminde, master alaşım olarak kullanılan ferrobordan empürite konsantrasyonlarının belli sınırların altında olması gerekmektedir. Sistemde empüriteleri toplamak ve atılmak üzere bir curufun oluşturulması, enerji tüketim değerlerini arttırdığı gibi, bir miktar borun bünyesinde kaybolmasına sebep olduğundan kesinlikle istenmemektedir. Bu durumda istenilen konsantrasyonların sağlanması ancak uygun hammadde ve redüktantların seçimi ile mümkün olmaktadır.

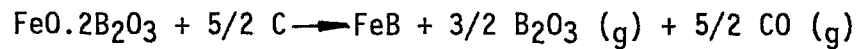
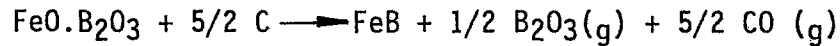
Deneylerde elektrod malzemesi olarak kullanılan elektrografitin her deneyde aynı kalitede olmaması tüketim değerleri arasında korelasyon bulunmasını, engellemiştir. Ancak, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44 ve redüktant ilavesinin ve dolayısıyla ferroborda bor konsantrasyonunun düşük (% 1.55) olduğu şartlarda elektrod tüketimi 265 g/kg metal, hareket hızında 12.8 cm/saat gibi değerlerle oldukça yüksek değerlerde gerçekleşmiştir.

% 16.6 ile % 18.4 bor içeren ferrobor üretiminde ise elektrod tüketim miktarı ve hızının ağırlıklı ortalama değerleri 120.5 g/kg metal ve 6 cm/saat olarak gerçekleşmiştir.

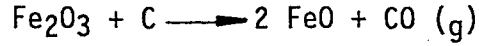
7.3. Fırın Potası İçinde Ferrobor Oluşum Mekanizmasının İrde- lenmesi

Borik asit, demir oksit, odun kömürü ve tahta talaşından oluşan şarjın başlangıçtan itibaren 1, 2, 4 saat gibi belirli sürelerde ergitilip fırından metal alındıktan sonra soğumaya terk edilen potanın sektörel incelemesi, reaksiyon mekanizmalarını ortaya çıkarmak amacı ile yapılmıştır. Yapılan X-ışınları ve kimyasal analiz sonuçları ferroborun üst elektrodun hemen alt ucu etrafında oluştuğunu göstermiştir.

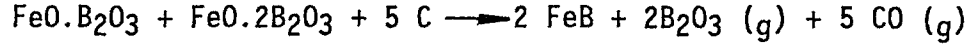
Şarj içindeki borik asit üst sektörlerde su kaybedip bor oksite dönüşürken, hematit de manyetite redüklenmektedir. Manyetitin redüksiyonu sonucu oluşacak demir oksite tek başına rastlanmazken, 7. sektöre kadar $\text{FeO.B}_2\text{O}_3$ veya $\text{FeO.2B}_2\text{O}_3$ şeklindeki demir boratlara sıkça rastlanmıştır (Tablo 6.6). Üst elektrodun alt ucunun bulunduğu 8. sektörden itibaren bu bileşikler kaybolurken, ferrobor oluşmaya başlamakta ve fırın tabanında toplanmaktadır. Bor konsantrasyonunun hızla artarak % 16-20 değerlerine vardığı bu bölge, bor redüksiyonunun gerçekleştiği bölge olarak tahmin edilmektedir. Bu durumda redüksiyon reaksiyonlarının,



şeklinde olması kuvvetle muhtemeldir. Demir borat bileşiklerinin termodinamik bilgilerinin literatürde mevcut olmaması termodinamik irdeleme yapılmasını engellemiştir. Ancak bu reaksiyonların, fırının daha üst bölgelerinde oluşan



reaksiyonu ile birlikte



şeklinde toplam reaksiyonlar olarak yazılarak irdelenmesi, sistemdeki karbon tüketiminin hesaplanmasını sağlayabilmektedir.

H₃BO₃/Fe₂O₃ oranının 1.12, şarjda sabit karbon miktarının % 12.25 olduğu deneye ait karbonun kullanım dağılımı Tablo 7.1 dendir.

Tablodan görülebileceği gibi şarjdaki odun kömürü ve tahta talaşından gelen sabit karbona, elektrod tüketimi de eklenmiştir. X-ışınları sonuçlarına göre yazılan reaksiyonlar için hesaplanmış karbon tüketimi ile sinter sütunundaki sektörler ve metalde kalan karbonun toplamı yak-laşık olarak sabit karbon girişine eşittir. Reaksiyonlar için harcanan karbon, toplam sabit karbonun % 74.3 ü kadar olurken, elektroddan tüketimde yine sabit karbonun % 15.5 ini oluşturmuştur.

Tablo 7.1. Ark Fırını Ergitmesinde Karbon Kütle Dengesi.

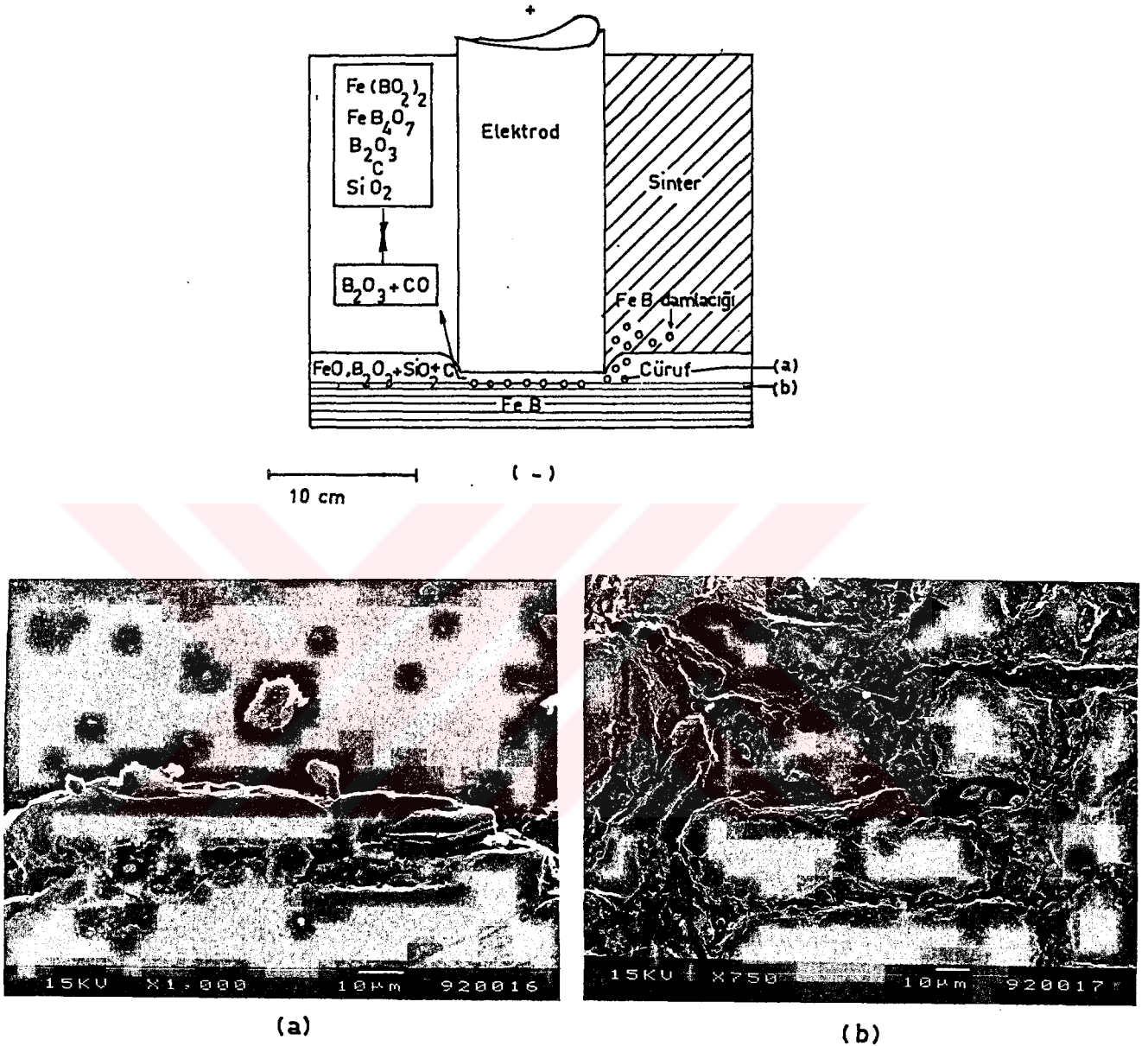
Sabit Karbon Girişi			Sabit Karbon Tüketimi		
Cins	Miktar		Muhtemel Reaksiyonlar	Miktar	
	[g]	[%]		[g]	[%]
Odun Kömürü	15203	74.93	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} \longrightarrow \text{FeO} + \text{CO (g)}$	3308.4	16.35
Tahta Talaşı	1941	9.57	$\text{FeO.B}_2\text{O}_3 + \text{FeO.2B}_2\text{O}_3 + 5 \text{C} \longrightarrow 2\text{FeB} + 2\text{B}_2\text{O}_3 \text{ (g)} + 5 \text{CO (g)}$		
Elektrod	3145	15.50		11722.5	57.94
				5146.0	25.44
			Sinter Sektörlerinde		
			Metalde	54.8	0.27
Toplam	20289	100.0		20231.7	100.00

Şarjdaki sabit karbon oranının, % 13.58 e çıkarılması, elektrod tüketim miktarını azaltmamıştır (Tablo 6.2). Bu artış fırından metal alım hızını bir miktar arttırmasına rağmen, (Ek Tablo B.3. Deney No. 10.97 ve 10.101) odun kömürü külünden gelen alüminyum gibi empürilerin metalde zenginleşmesine (% 0.55) sebep olmaktadır (Ek Tablo B.3). Sabit karbon miktarının daha da arttırılıp % 14.88 değerine ulaşması, fırında metal alınmasını engelleyen ergimemiş birikintinin oluşmasına sebep olan şartları yaratmaktadır.

Yukarıda reaksiyonlar ile açıklanan şarj sütunundaki ferrobor oluşum mekanizması şematik olarak Şekil 7.4 de gösterilmiştir. Borik asit, demir oksit, odun kömürü ve tahta talaşından oluşan şarj fırın ağzından beslenmeye başlandığı andan itibaren rutubetini kaybetmekte, bor oksitin ergimesiyle birlikte sinterleşen şarj tahta talaşının koklaşmasıyla redüksiyonun ilerleyebilmesi için gerekli poroziteye sahip olmaktadır. Sinterleşmiş şarjı, şarj içinde en büyük tane boyutuna sahip odun kömürü taşımaktadır. Fırının üst bölgelerinde oluşmaya başlayan demir boratlar, bünyesine aldıkları kömür ile birlikte üst elektrodun ucuna doğru inmektedir.

X-ışınları analizlerine göre curuf olarak adlandırılabilen bu bölgenin kimyasal analizinde Tablo 6.6 da (Sektör 7) verilmiştir. FeB nin yeni oluşmaya başladığı bu bölgede bor ve demirin tamamının oksit yapısında olduğu kabul edilirse curuf bileşiminin % 98.94'ü; B₂O₃ (% 31.61), FeO (% 40.18), SiO₂ (% 12.21) ve C (% 14.94) den oluşurken kalanıda empürite ve oksitleridir.

Bu çalışma ile varlığı kanıtlanan curuf fazı yüksek oranda kovalent bağlı B₂O₃ içermesi sebebi ile viskozitesinin ve özgül direncinin yüksek olması beklenmelidir [55]. Ancak FeO.B₂O₃ curufları üzerinde bu konularda yapılmış ölçmelere rastlanamamıştır.

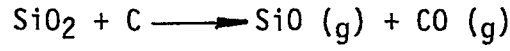


Şekil 7.4. Fırın İçinde Ferrobör Oluşum Mekanizmasının Temsili Gösterimi ve Ark Bölgesinden Alınan Numunelerin Fotoğrafları. (a): Curuf/Metal Arayüzeyi, (b): Elektrodun Hemen Altından Alınan Metal.

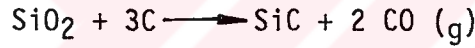
Özgül direnci yüksek viskoz curuf bünyesinde taşıdığı karbon taneleri ile birlikte üst elektrodun alt ucuna geldiğinde, yüksek sıcaklık yardımıyla bor ve demir borat üzerinden redüklenerek, ferrobör oluşturmaktadır. Reaksiyon stokiometrisi gereği açığa çıkan bor oksit ise reaksiyon sonucu oluşan CO gazı ile fırının soğuk üst

bölgelerine doğru hareket etmektedir. CO fırını terk ederken B_2O_3 fırının daha soğuk üst bölgelerinde Fe_2O_3 redüklenmesi ile oluşan FeO ile birleşerek tekrar demir borat oluşturmakta ve sistemden uzaklaşmaktadır.

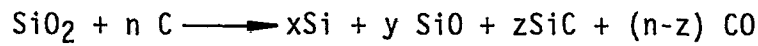
Kullanılan odun kömürü külünden sintere geçen silisyum benzer şekilde redüklenmektedir. SiO_2 fırın içersinde aşağı doğru inerken temas ettiği karbon miktarlarına bağlı olarak ya,



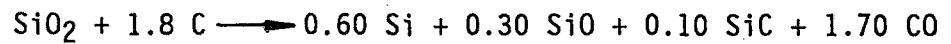
reaksiyonuna göre SiO gazı olarak fırının üst bölgelerine doğru yükselmekte ya,



reaksiyonuna göre karbür oluşturmakta ya da,



reaksiyonuna göre davranarak üç tip silisyum bileşiğini birden meydana getirebilmektedir. Ferrosilisyum veya silisyum metal üretimi esnasında oluşabilecek reaksiyon kademeleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda silisyumun en ideal şekilde redüksiyonunun,



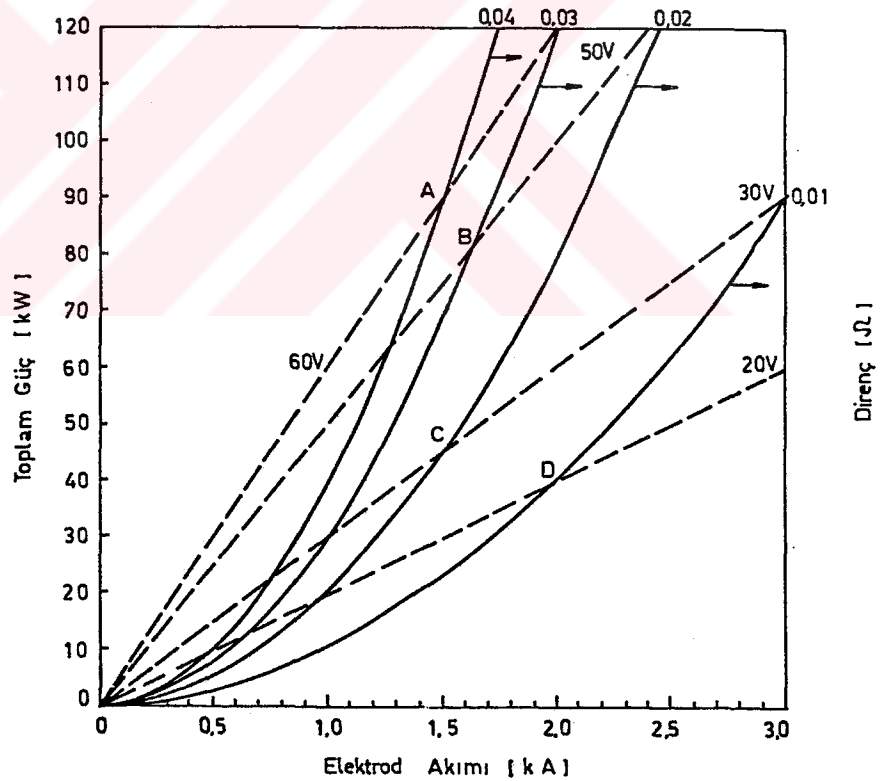
reaksiyonuna göre olduğu belirlenmiştir [56,57,58].

Bu çalışmada da redüklenen silisyum sıvı demir içinde çözünmüş ve metalin X-ışınları analizi oluşan bileşiğin, Fe_3Si olduğunu göstermiştir.

7.4. Elektriksel Karakteristiklerin İrdelenmesi

Elektrik ark ocaklarında yapılan üretim miktarı, kullanılan enerji ile doğrudan ilgilidir. Üretim miktarını arttırmak için enerji değerlerin arttırılmasının istendiği durumda, fırına uygulanan gücün mümkün olduğunca arttırılması gerekmektedir. Ayrıca yüksek güç girişi fırının emniyet limitleri ve elektriksel karakteristikleri ile sınırlanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan 100 kVA lık doğru akım güç kaynağından sağlanabilecek, toplam güç, elektrod akımı, voltaj ve direnç değerleri için hesaplanmış karakteristik eğriler Şekil 7.5 de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. 100 kVA'lık Tek-fazlı Daldırmalı Tip Doğru Akım Ark Fırını İçin Elektriksel Karakteristik Eğriler.

Şekilde kesikli çizgi ile gösterilen eğriler, voltajın sabit olduğu şartlarda, elektrod akımına bağlı olarak güç kaynağından

fırına çekilen gücün değişimini ifade etmektedir. Bu hesaplamalarda kullanılan eşitlik

$$\text{Güç} = \text{Akım} \cdot \text{Voltaj}$$

şeklindedir. Parabolik eğriler ise direncin sabit olduğu şartlarda, gücün elektrod akımına göre değişimini göstermektedir ve

$$\text{Güç} = (\text{Akım})^2 \cdot \text{Direnc}$$

eşitliğine göre hesaplanmıştır.

Güç kaynağından alınabilecek güç, ya elektrik tesisatı yada trafo gücü ile her zaman sınırlıdır. Ergitme hızını arttırmanın ilk adımı olan maksimum güç kullanımı, sistemin en yüksek direnç değerlerinde çalıştırılması ile mümkündür. Bu çalışmada ölçülen en yüksek direnç değeri 0.04 ohm olmuştur. Bu durumda uygulanabilecek maksimum voltaj 60 V, elektrod akımında 1500 A olacaktır (Şekil 7.5. A noktası). Şarj direncinin 0.03 ohm'a düşmesi voltaj değerini 50 V'a düşürürken, elektrod akımında 1650 A e arttırmaktadır (B noktası). Güç kaynağından çekilen gücün 45 kW'a düşürülebilmesi, ortam direncinin 0.02 ohm, Voltajın 30 V, akımında 1500 A olduğu şartlarda mümkündür (C noktası). Şarj direncinin 0.01 ohm olduğu şartlarda ise, güç kaynağından çekilen güç 40 kW değerine, voltajın 20 V, elektrod akımının da 2000 A olduğu şartlarda düşmektedir (D noktası).

Bu elektriksel karakteristikler, fırına beslenecek gücü ve buna bağlı olarak elektrodun daldırma miktarını belirlemektedir.

Elektrodun dibe maksimum ölçüde daldırılması fırın ağzından ısı ve dolayısıyla enerji kaybını azalttığından mümkün olan en küçük dirençte çalışılması ergitme maliyetini düşürecektir. Derin daldırma, elektrod altında, güç yoğunluğunu arttırmaktadır. Bu şartlar, redüksiyon için yüksek sıcaklık ve enerji gerektiren oksitlerin (B_2O_3 gibi) redüksiyonunu kuvvetlendirmektedir. Yine bu şartlar yük-

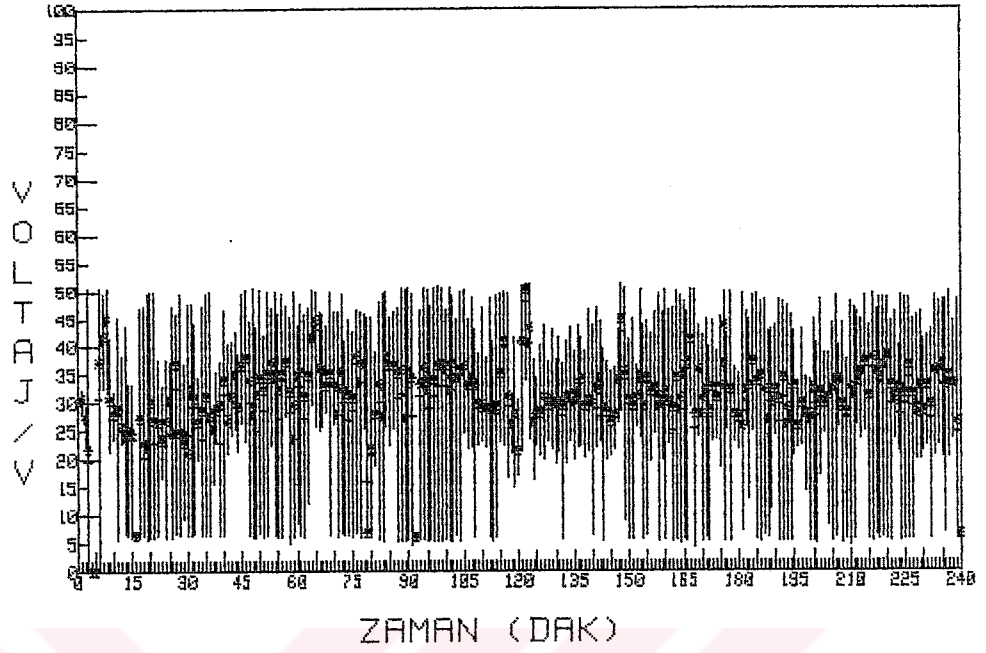
sek tenörlü alaşım (yüksek silisyumlu ferrosilisyumkrom veya ferrosilisyummanganez işlemlerinde olduğu gibi) üretiminide mümkün kılmaktadır [59].

Yukarıda açıklanan daldırmalı tip ark ocaklarına ait tecrübeler bu çalışmada ark fırınında yapılan ergitme deneylerinde aynen gözlenmiştir. 2 nolu demir cevherinin kullanıldığı 10.108 nolu deneye ait, voltaj, akım, güç ve direnç değerlerinin zamana karşı değişimi sırasıyla Şekil 7.6 ve 7.7 de verilmiştir. Bu şekillerdeki dikey ince çizgiler 1 dakika içinde 1 saniye aralıkla ölçülmüş değerlerin minimum ve maksimum noktalarını, koyu bölgeler ise hesaplanmış ortalamaları göstermektedir. Ölçüm ve hesaplamaların tamamı yine Ek C.1 de verilen bilgisayar programı kullanılarak başarılmıştır.

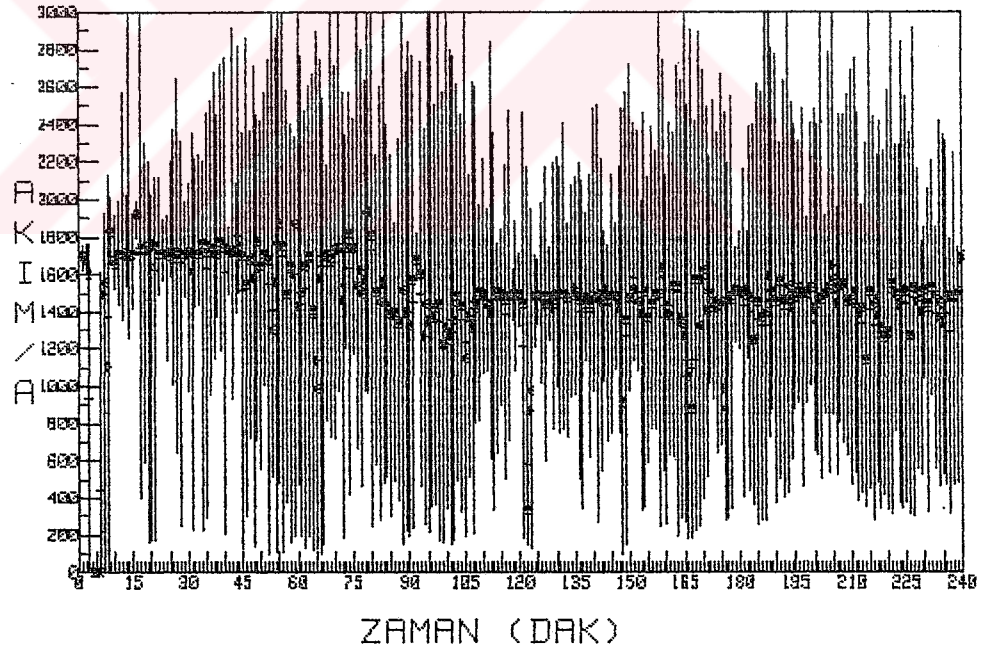
Ölçülen elektriksel değerler arasında en stabil olan dirençtir (Şekil 7.7.(b)). Bu deneye ait direnç değerlerinin ortalaması 0.020 ohm olarak bulunmuştur. Bu direnç değeri 1 nolu demir oksitin kullanıldığı ve metal üretiminin başarıldığı şartlarda (Deney No: 10.99) 0.016 ohm olmuştur. Bu sonuçlar daha ince demir cevheri kullanılması durumunda elektrik direncinin azaldığını kanıtlamaktadır. O halde sisteme verilecek güç azalacağı için fırının ısınmasının olumsuz yönde etkilenmesi beklenmelidir.

Metal üretiminin mümkün olmadığı, ergimemiş birikintinin oluştuğu şartlarda ise direnç 0.01 ohm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 7.8). Bu elektriksel ölçümler ergimemiş birikintinin oluştuğu şartları direnç yönünden belirlemektedir. Zamana bağlı olarak direnç değişimi ergimemiş birikintinin oluştuğu şartlarda salınmayarak, yaklaşık düz bir eğridir. Bu sebeple bu faz iletken bir direnç gibi davranmakta ve fırının soğumasına sebep olmaktadır.

Bu sistemde elektrik akımı anottan katoda, elektrodun yan duvarlarından curufa ve sonrada metale geçmesiyle yada elektrod

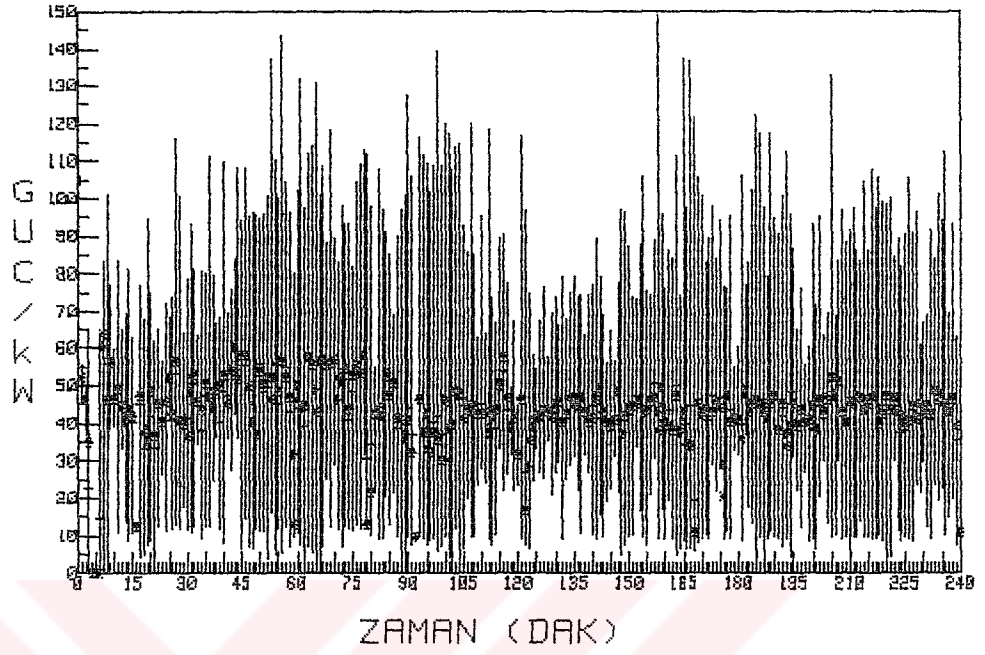


(a)

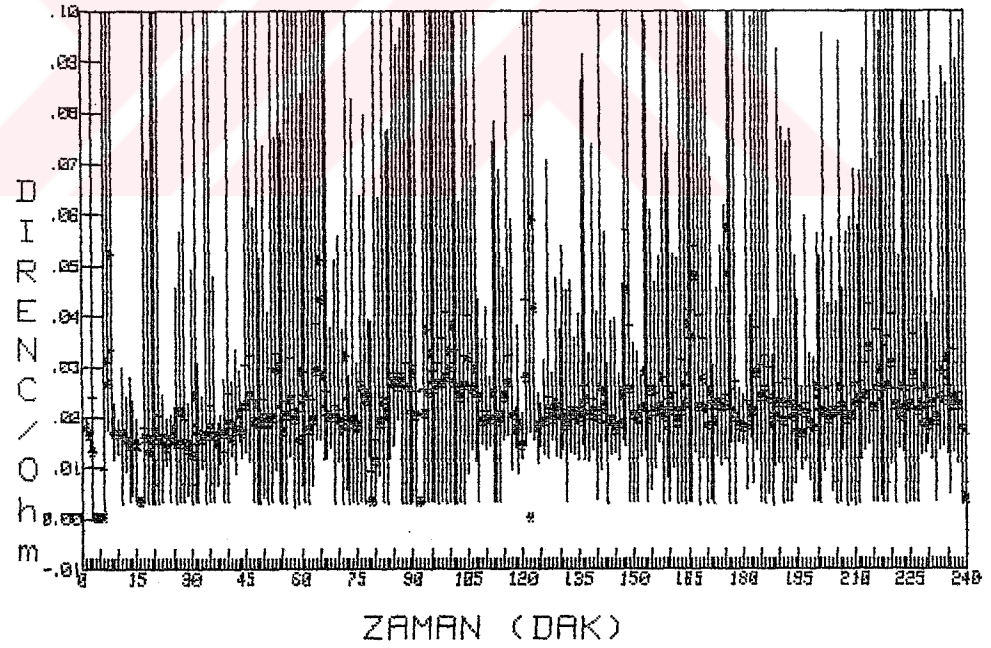


(b)

Şekil 7.6. Metal Üretiminin Başarıldığı Deneyde Ortalama Voltaj (a) ve Akım (b) Değerlerinin Zamanla Değişimi.

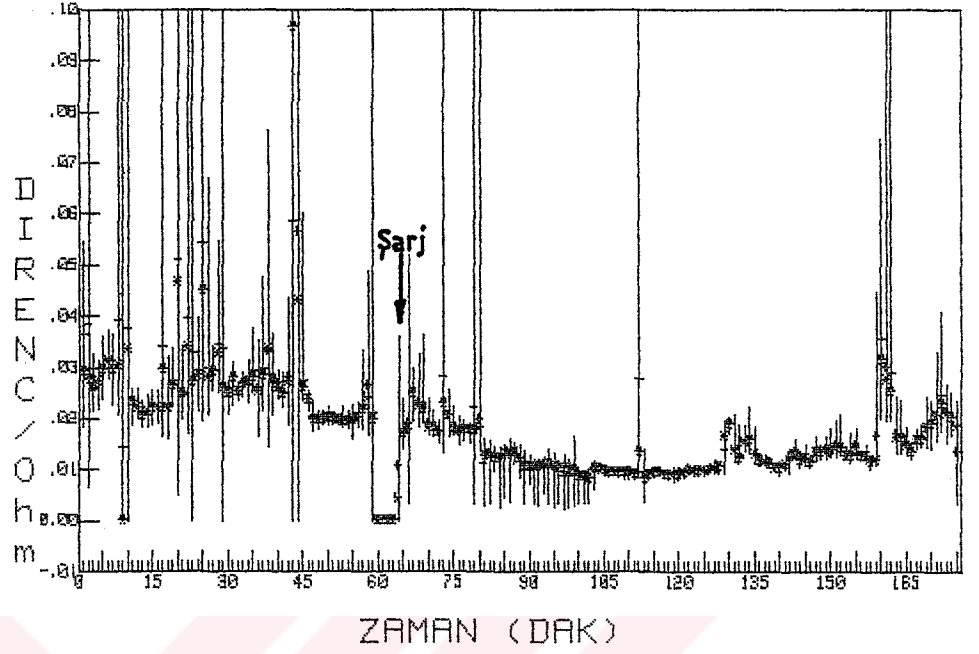


(a)



(b)

Şekil 7.7. Metal Üretiminin Başarıldığı Deneyde Ortalama Güç (a) ve Direnç (b) Değerlerinin Zamanla Değişimi.



Şekil 7.8. Ergimemiş Birikintinin Oluştığı Şartlarda Ortalama Direnç Değerlerinin Zamanla Değişimi.

ucundan curufa ve metale geçmesi şeklinde taşınabilir. Deneylerden sonra üst elektrodun (anodun) incelenmesi aşınmanın yanlardan değil sadece uçtan olduğunu göstermiştir. Deney sonrası yapılan gözlemler, demir boratlardan oluşan curuf yüksekliğinin 15-45 mm arasında değiştiğini göstermiştir. Dalma derinliğinin çok az olması sebebiyle elektrik akımının sadece elektrod ucundan taşındığını söylemek mümkündür.

Bu tip fırınlarda ortalama elektriksel direnç;

$$R = \frac{f_g}{\sigma} = \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}} = \text{ohm}.$$

şeklinde tariflenebilmektedir. Burada f_g ; fırın geometrik faktörü, σ ise curufun özgül elektrik iletkenliğidir. Fırın geometrik faktörünü f_g , elektrod çapının (d), elektrod dalma derinliğinin (h), elektrod

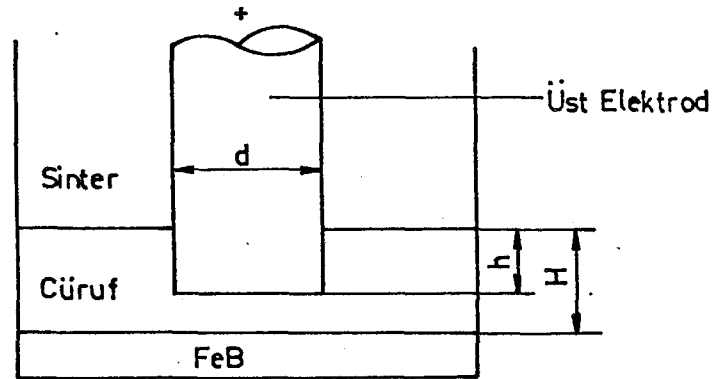
boşluğunun (s) ve ortalama curuf yüksekliğinin (H) fonksiyonudur. Tek elektrodlu ve elektrik akımının sadece elektrod ucundan taşındığı, yatay akımların ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu şartlarda fırın geometrik faktörü Nilsen tarafından;

$$fg = \frac{0.3034 [(H-h)/d]^{0.45}}{d (\%h/d)^{0.24}}$$

şeklindeki formülle ampirik olarak tariflenmiştir [60].

Deneyisel çalışmalarda elde edilen sonuçları irdelemek amacıyla, elektrodun fırın içindeki pozisyonunu gösteren şema Şekil 7.9 da verilmiştir.

Deneyler esnasında yapılan ölçümler ve hesaplamalar üst elektrodun metale olan uzaklığının 2.7 ve 5.0 mm arasında değiştiğini göstermiştir.



Şekil 7.9. Fırında Ferrobor ve Curuf Yükseklikleri ile Elektrod Dalma Derinliklerinin Şematik Gösterilişi.

Bu şartlar altında geometrik faktörün (fg); 0.012 ile 0.022 1/cm arasında değiştiği hesaplanmıştır. Ortalama geometrik faktörün 0.017 1/cm ve ortalama direncin 0.02 ohm olması durumunda Tablo 6.6. daki 7. sektörde analizi verilen bu tür bir curufun özgül iletkenliği yukarıdaki formülden hareketle $0.85 \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur.



8. GENEL SONUÇLAR

1. Geleneksel ferrobor üretim yöntemlerinden olan aluminotermik prosesle elde edilen master alaşımlar, yüksek alüminyum içeriklerinin magnetik özellikleri kötü yönde etkilemesi nedeniyle, metalik sac ve magnetik malzeme gibi ürünlerin üretiminde kullanılamamaktadır. Ayrıca aluminotermik yöntemle borun ferrobora geçiş verimi, oluşan curuf nedeniyle % 60 civarında kalmaktadır.

2. Ferrobor üretmek amacıyla borik asit, demir oksit odun kömürü ve tahta talaşı karışımının Tammann fırınında karbotermik yöntemle ergitilmesi, aluminotermik yöntemle benzer şekilde, ferroborda bor konsantrasyonu ve bor kazanım verimi açısından istenilen faydayı sağlayamamıştır. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.5 olduğu şartlarda ferroborda bor konsantrasyonu % 11.2 olurken, bor kazanım verimi % 84 olmuştur. Ferroborda bor konsantrasyonunu arttırmak amacıyla H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.0 a arttırılması konsantrasyonu arttırmazken, verimi düşürmüştür. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 2.0'a arttırılması ise ferroborda bor konsantrasyonunu % 17.5 a artarken, bor kazanım verimi % 36 ya düşmüştür. Bu durumda ferrobor üretiminin amaçlandığı fırın potasının özel olarak dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, kullanılan şarjın bir sütun halinde fırında tutulabilmesi için, ark fırını potasının boyu uzatılarak bir şaft fırını haline getirilmiştir.

3. 100 kVA lık tek fazlı doğru akım elektrik ark fırını kullanılarak, çelik endüstrisinde ve magnetik malzeme üretiminde kullanıma uygun ferrobor yüksek konsantrasyon ve düşük enerji tüketimi ile üretilebilmiştir.

4. Ferroborda bor konsantrasyonu, şarjda bulunan sabit karbon miktarının artması ile artmıştır.

5. Ferroborda bor konsantrasyonu arttırmak amacıyla redüktant olarak kullanılan odun kömürü miktarının kullanımının aşırı olarak arttırılması, metal yerine ergimemiş birikinti oluşmasına yol açmaktadır. Ergimemiş birikinti, şarjdaki stokiometrik olarak gerekli karbon miktarının, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 0.44 olduğu şartlarda, % 80 e varmasıyla oluşurken, H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12 olduğu şartlarda % 90 ı aşmasıyla oluşmaktadır. H_3BO_3/Fe_2O_3 oranının 1.12 olduğu şartlarda metal alımı ve yüksek bor konsantrasyonu, stokiometrik olarak gerekli karbon miktarının % 72 sinin kullanılması ile elde edilmiştir. Bu şartlarda şarj içerisinde % 12.25 sabit karbon mevcuttur.

6. Ferroborda bor konsantrasyonunun arttırılması, alaşımdaki kg B başına harcanan elektrik enerjisini azaltmaktadır. Alaşımda bor konsantrasyonun % 1.55 den % 18.0 e arttırılması enerji tüketim değerini 360.1 den 35.1 kWh/kg B a düşürmüştür. Bu durumda yüksek bor konsantrasyonlu ferrobordan üretimi ekonomik zorunluluk olmaktadır.

7. Ferroborda bor konsantrasyonunun artması, karbon konsantrasyonunu düşürmektedir. % 1.55 B içeren alaşımın karbon konsantrasyonu % 3.40 olurken, % 18 B içeren alaşımdaki ortalama % 0.20 olmuştur. Direkt metalik sac üretimine yönelik, düşük konsantrasyonla ferrobordan üretimi yüksek enerji tüketimi yanı sıra, yüksek karbon içeriği nedeniyle de dekarburizasyon gerektirmektedir. Dekarburizasyon işlemi, bor kayıplarını arttıracığından ekonomik yönden uygun değildir. Bu açıdan yüksek bor konsantrasyonlu alaşım üretimi gerekmektedir.

8. Ferrobordan üretiminde seçilen hammaddeler direkt olarak ürün kalitesini etkilemektedir. Özellikle alaşımdaki Mn, Cu, Cr, Ni, Co gibi empüritelerin azaltılması, bu empüriteleri daha az içeren demir cevherinin kullanılması ile mümkün olmaktadır. Alaşımdaki Si ve Al gibi empüriteler ise redüktant olarak düşük kül miktarına sahip odun kömürü kullanılarak azaltılabilmektedir.

9. Deneylerde elektrod malzemesi olarak kullanılan elektrografit, % 16.6 ile % 18.4 arasında bor içeren ferrobordan üretiminde

ortalama 120.5 g/kg metal miktarında ve 6 cm/saat hız ile tüketilmiştir. Elektrod hareketi metal üretiminin gerçekleştiği şartlarda aşağı, ergimemiş birikintinin olduğu şartlarda yukarı doğru olmuştur.

10. Borik asit, demir oksit, odun kömürü ve tahta talaşından oluşan şarj harmanı, % 16.6 ile % 18.4 arasında bor içeren ferrobor üretiminde yaklaşık 600 g/dak. hızla fırına beslenmiştir. Fırın potasının nispeten soğuk üst bölgelerinde borik asit rutubetini kaybederek bor oksite dönüşürken, hematit manyetite ve sonrada demir oksite redüklenmiştir. Oluşan boroksit ve demir oksitler demirboratlar oluşturarak üst elektrodun ark ucuna doğru kömür taneleri ile birlikte inmiştir. Bu bölgede demir ve bor 15-45 mm kalınlığındaki FeO ve B_2O_3 den oluşan ince bir curuftan aynı anda redüklenerek ferrobor oluşturmuş ve fırın tabanında yaklaşık 104 g/dak. hızla birikmiştir. Redüklenemeyen boroksit yüksek sıcaklıktaki, yüksek buhar basıncı nedeniyle fırının üst bölgele-rine doğru yükselmiştir. Fırın ağızdan sürekli olarak beslenen şarj bu bölgenin soğumasına sebep olmaktadır. Bu bölgede yoğunlaşan bor oksit sinterle birlikte tekrar redüksiyon bölgesine taşınmaktadır. Bu üretim yöntemi sayesinde, sisteme giren borun sadece % 1.7 si baca gazlarıyla kaybedilmiştir. Bu düşük bor kaybı, yüksek oranda nem içeren borik asit kullanımı yanı sıra, porozite oluşturucu olarak tahta talaşı ilavesi ile fırının üst bölgelerinin soğuk tutulabilmesi ile başarılabilmektedir.

11. Bu çalışmada ark fırınına en iyi koşullarda ortalama 40.5 kW. lık güç verilerek 570 kW/m^2 lik güç yoğunluğu uygulanmış ve 88 kg/m^2 saat hız ile % 16-18 B içeren ferrobor üretilmiştir. Halbuki Hähn vd. tarafından yapılan çalışmada 300 kW/m^2 güç yoğunluğunda 43 kg/m^2 saat'lik bir metal üretim hızına ulaşılmıştır [37]. Bu kıyaslama, güç yoğunluğunun düşürülmesi ile ergitme hızının azaldığına işaret etmektedir.

12. $6.80 \text{ m}^2/\text{g}$ ve $1.95 \text{ m}^2/\text{g}$ olmak üzere farklı yüzey alanına sahip iki tür demir oksitli hammadde için aynı sabit karbon içeriğinde, ferroborda bor konsantrasyonu birincide daha yüksek

bulunmuştur. Bunun iri boyutlu olanın daha zor reaksiyona girmesinden kaynaklandığı söylenebilir. İri boyutlu olanda sabit karbon oranı yüksek kömür kullanılması gerekmektedir.

13. Ark fırınında yapılan ergitme deneylerinin bilgisayar programı yardımı ile okunan ve toplanan elektriksel karakteristiklerin incelenmesi sonucunda voltajın 20-35 V, akımın 1400-2200 A arasında salındığı saptanmıştır. Sistemde voltaj değerleri son derece kritiktir. 20 voltun altında ark kaybolmakta, gerilim düşerek 5-8 V civarında kısa devre oluşmaktadır. Uygulanan voltajın 40-50 V a artması ise şarjın yanmasına ve enerji tüketiminin artmasına sebep olmuştur.

14. Sistemin direnci, geometrik faktör ile doğru, curuf iletkenliği ile ters orantılıdır. Geometrik faktör, curuf yüksekliği ve elektrodun curufa dalma derinliğinin fonksiyonudur. Ark açıklığının artması geometrik faktörü, dolayısıyla sistem direncini arttırmaktadır. Artan dirençle birlikte fırına uygulanan gücün artması, enerji tüketim değerlerini arttıracığından, kısa devre oluşturmayan minimum direnç değerlerinde çalışılması gerekmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda ferrobor üretiminde sistem direncinin 15-25 mohm arasında değiştiğini göstermiştir. Bu durumda demir boratlardan oluştuğu saptanan curufun özgül iletkenliği yaklaşık $0.8 \text{ ohm}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

ÖNERİLER

1. Elektrik elektronik sektöründe kullanılacak ferrobor mutlaka karbotermik yöntemle üretilmelidir. Karbotermik ferrobor üretiminde enerji tüketimi ve alaşımdaki karbon konsantrasyonu, bor konsantrasyonunun artmasıyla azalmaktadır. Ferroborun ergime sıcaklığında yüksek buhar basıncına sahip B_2O_3 halinde borun fırın dışına taşınması üretim yapılacak fırın potasının özel dizaynını gerektirmektedir. 100 kVA lık tek fazlı doğru akım elektrik ark fırını kullanılması durumunda potanın iç boyutlarının yükseklik/çap oranının 2.7 olması, % 18 bor içeren ferrobor üretimi için yeterli olmaktadır.

2. Seçilen demir oksit cinsi ferrobordaki manganez, krom, bakır, nikel, kobalt konsantrasyonlarını doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden ferroborda empürite konsantrasyonları kullanılan hammadde ile kontrol edilebilmektedir. Empürite değerlerinin mümkün olduğunca düşürülmesinin amaçlandığı durumda, empürite konsantrasyonu düşük demir cevheri kullanılması gerekmektedir.

3. Ferrobordaki silisyum, alüminyum gibi empüritelerin kaynağı da büyük oranda redüktant olarak seçilen odun kömürünün külüdür. Redükleyici şartları kuvvetlendirmek amacıyla kullanılan odun kömürü miktarının arttırılması, ferroborda silisyum ve alüminyum konsantrasyonunu arttırdığından kül oranı mümkün olduğunca düşük odun kömürü kullanılması gerekmektedir.

4. Redükleyici şartları kuvvetlendirmek amacıyla şarja aşırı kömür katılması, metal yerine ergimemiş faz oluşmasına sebep olduğundan, şarj içindeki sabit karbonun toplamı, stokiometrik miktarın % 90'ından az olmalıdır.

5. Ergitme işlemleri esnasında enerji tüketimi ve bor kayıplarını azaltmak amacıyla, kısa devrenin oluşmadığı en küçük direnç değerlerinde çalışılmalıdır. Ferrobor üretiminde bu değer yaklaşık 20 mohm olmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] DE CRISTOFARO, N., Transformer Market Considerations, Journal of Metals, p.17, January 1986.
- [2] FROES, F.H., CARBONARA, R., Applications of Rapid Solidification, Journal of Metals, pp. 20-27, February 1988.
- [3] ROSENFELDER, W.J., Rapidly Solidified Materials, American Society for Metals, pp. 427-434, 1985.
- [4] JASCHINSKI, W., Amorphe Metalle-Entwicklung einer neuen Werkstoffklasse, Tech. Mitt. Krupp. Forsch. Ber. Band 39, H.1, s.1-12, 1981.
- [5] ULLMANN, Encyklopaedie der Technischen Chemi, Bor and Ferrob, Band 8, s. 644-675, 1974.
- [6] SHISHIDO, H., KAN, T., Influence of Small Amounts of Aluminum and Sulfur on Magnetic Properties in Amorphous Ribbons, IEEE Transactions on Magnetism, Vol. MAG-18, No.6, pp. 1382-1384, November 1982.
- [7] BUDUROV, S., SPASSOV, T., Influence of Copper Additions on the Crystallization of Amorphous Fe-B-Si Alloys, Material Science and Engineering, 97, pp. 361-364, 1988.
- [8] NATHASING, D.M., Effects of Chromium and Carbon Additions on the High-frequency Magnetic Properties of an Fe-B-Si alloy, J. Appl. Phys. 55 (6), pp. 1793-1795, 15 March 1984.
- [9] SUSSMAN, R.C., EVANS, L.G., Development of a New Method to Produce Melts, Suitable for the Production of Amorphous Fe-Si-B Materials, Metallurgical Transactions B, Vol. 18 B, pp. 71-79, March 1987.
- [10] LYDAY, A., Boron, Mineral Facts and Problems, Bureau of Mines, United States Department of the Interior, pp. 1-11, 1985.

- [11] D.P.T., Kimyasal Madde Araştırması - Bor Bileşikleri, Müsteşarlık Araştırma Grubu Başkanlığı, 1990.
- [12] KUBASCHEWSKI, O., Metallurgical Thermochemistry, 3. Edition, Pergamon Press, 1967.
- [13] WERNER, D.H., Bor und borlegierte Stähle, Verlag Stahleisen mbH, 1990.
- [14] HAHN, R., RETELSDORF, H.J., Borlegierungen für amorphe Legierungen, Metall, 39. Jahrgang, Heft 12, s: 1148-1150, Dezember 1985.
- [15] BEBBINGTON, R.W., The Role of Ferroboron and Ferrotitanium in Steels: Production Methods, Quality Aspects, and Addition Techniques, INFACON 6. Proceedings of the 1st International Chromium Steels and Alloys Congress, Cape Town, Volum 2. pp. 263-267, March 1992.
- [16] HOUDREMONT, E., Bor in Stahl, Handbuch der Sonderstahlkunde, Springer-Verlag. Berlin, S: 1454-1465, 1956.
- [17] BLUMENTHAL, H., Rapid Analysis Determines Boron in Alloys, Journal of Metals, pp. 140-142, February 1952.
- [18] SCHNEIDER, J., PUMPE, W., Metallische Gläser-Herstellung, Struktur und physikalische Eigenschaften, Neue Hütte, 24. Jahrgang. Heft 10, s. 379-383. Oktober 1979.
- [19] GUANGFEI, S., CHEN, J., The Synthesis of Nd-Fe-Co-B by Reductiondiffusion and Its Magnetic Properties, J. Appl. Phys. 64 (10), pp. 5519-5521, 15 November 1988.
- [20] SUSMAN, R.C., EVANS, L.G., Method of Producing Boron Alloy, US Patent, No. 4572747, 25 February 1986.
- [21] GUPTA, C.K., MEHRA, O.K., Studies on the Preparation of Some Steel Additives. Steel India, Vol.3, No.1, pp. 17-19, April 1980.

- [22] GUPTA, C.K. ile İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fak. Metalurji Bölümünde Kişisel Görüşme, Haziran 1990.
- [23] YÜCEL, O., ÇINAR, F., ADDEMİR, O., Production of Ferre vanadium from Vanadium Sludge, International Conference on the Recycling of Metals, ASM, Düsseldorf, 13-15 May 1992.
- [24] BARIN, İ., Thermochemical Data of Pure Substances, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1989.
- [25] RISS, M., KHODOROVSKY, Y., Production of Ferroalloys, Mir Publishers, Moscow, pp. 260-262, 1967.
- [26] EDNERAL, F.P., Electrometallurgy of Steel and Ferro-alloys, Mir Publishers, Moscow, Vol 2, pp. 203-204, 1979.
- [27] PACZ, A., Process of Preparing Boron-Iron Alloys, US. Patent, No. 1562042, 17 November 1925.
- [28] PACZ, A., Iron-Boron Alloy, US Patent, No. 1562043, 17 November 1925.
- [29] VOLKERT, G., Metallurgie der Ferrolegerungen, Springer Verlag, s. 683-691, 1972.
- [30] YÜCEL, O., ADDEMİR, O., Aluminotermik Yöntemle Ferrobör Üretim Koşullarının Optimizasyonu, Yayımlanmamış Çalışma.
- [31] SINGHAL, S.C., Production of Ferrobör by the Silicon Reduction of Boric Acid, US Patent, No. 4602950, 29 July 1986.
- [32] HAMADA, T., Method for Producing Fe-B Molten Metal, US Patent, No. 4397691, 9 August 1983.
- [33] HAMADA, T., Methods of Producing and Using Amorphous Mother Alloy, US Patent, No. 4505745, 19 March 1985.
- [34] ELYUTIN, V.P., PAVLOV, Y.A., Production of Ferroalloys-Electrometallurgy, Translated from Russian by the Israel Program for Scientific Translations, 1961.

- [35] HILDEBRAND, C.E., Multistage Process for Preparing Ferroboron, E Patent, No 143947, 5 October 1984.
- [36] SEKI, K., HIROMOTO, T., Production of Ferro-Boron by Electric Furnace, INFACON 86 PROCEEDINGS, pp. 309-320, 1986.
- [37] HANN, R., RETELSDORF, H.J., Verfahren zur carbothermischen Herstellung einer Ferrobörlegierung oder einer Ferrobörsiliciumlegierung und Anwendung des Verfahrens auf die Herstellung Spezieller Legierungen, DE Patent, No. 3409311 C1, 5 September 1985.
- [38] RETELSDORF, H.J., ile İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fak. Metalurji Bölümünde Kişisel Görüşme, 10 Nisan 1990.
- [39] DYASON, G.J., SEE, J.B., Burden Movement in Submerged-Arc Ferromanganese Furnaces, Metallurgical Transactions B, Vol. 12 B, pp. 149-160, March 1981.
- [40] BOGDANDY, L., ENGELL, H.J., Die Reduktion der Eisenerze, Springer-Verlag, 1967.
- [41] MANNESMANN DEMAG, Submerged-Arc Furnaces, Özel Yayın.
- [42] MOORE, J.J., Developments in Ferrous Production Metallurgy in 1983, Journal of Metals, pp. 74-83, April 1984.
- [43] BOCHSLER, W., STICKLER, H., The ABB DC Arc Furnace, ABB Metallurgy, Özel Sayı.
- [44] RAO, Y.K., The Kinetics of Reduction of Hematite by Carbon, Metallurgical Transactions, Vol.2, pp. 1439-1447, May 1971.
- [45] SRINIVASAN, N.S., LAHIRI, A.K., Studies on the Reduction of Hematite by Carbon, Metallurgical Transaction B, Vol. 8B, pp. 175-178, March 1977.
- [46] ŞEŞEN, K., Avnik Demir Cevherlerinden Hazırlanan Peletlerin İndirgeme Davranışlarına CaO, Na₂O ve K₂O'in Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi 1986.

- [47] MOOKHERJEE, S., RAY, H.S., Isothermal Reduction of Iron Ore Fines Surrounded by Coal or Char Fines, Ironmaking and Steelmaking, Vol.13, No.5, pp. 229-235, 1986.
- [48] BRADSHAW, A.V., MATYAS, A.G., Structural Changes and Kinetics in the Gaseous Reduction of Hematite, Metallurgical Transactions B., Vol. 7.B, pp. 81-87, March 1976.
- [49] FRUEHAN, R.J., The Rate of Reduction of Iron Oxides by Carbon, Metallurgical Transactions B, Vol. 8B, pp. 279-286, June 1977.
- [50] YUKINOBU, M., OGAWA, O., Activities of Boron in the Binary, Fe-B, Co-B, and Cu-B Melts. Metallurgical Transactions B, Vol.2B, pp.705-710, October 1989.
- [51] BUSBY, E.P., WARGA, M.E., Diffusion and Solubility of Boron in Iron and Steel, Journal of Metals, pp. 1463-1468, November 1953.
- [52] DOSAJ, V.D., Method for Producing Solar-Cell-Grade Silicon, US Patent, No. 4247528, 27 January 1981.
- [53] NAFZIGER, R.H., Smelting Ferrochromium from a New Guinea Lateritic Chromite, Trans, Instn. Min, Metall, Sect.C. Mineral Process Extr. Metall., 92, pp. C 73-82, June 1983.
- [54] SZYMKOWSKI, C.J., BULTITUDE. PAUL, J.M., The Production of Highquality Silicon Metal at Simcoa, INFACON 6, Proceedings of the 6th International Ferroalloys Congress, Cape Town, Vol. 1, pp. 185-191, March 1992.
- [55] RICHARDSON, F.D., Physical Chemistry of Melts in Metallurgy, Vol.1, pp. 59-61, Academic Press, 1974.
- [56] NYLANDER, R., Nomographs for the Control and Analysis of Furnace Operations, Journal of Metals, pp. 65-63, January 1971.

- [57] JOHANSSON, T., ERICKSSON, G., Technical Aspects on the Silicon Arc Furnace Process Based on Chemical and Thermal Equilibrium Computations, Scandinavian Journal of Metallurgy 9, pp. 283-291, 1980.
- [58] ERICKSSON, G., JOHANSSON, T., Chemical and Thermal Equilibrium Calculations for a Quantitative Description of a Non-Isothermal Reactor, with Application to the Silicon Arc Furnace, Scandinavian Journal of Metallurgy 7, pp. 264-270, 1978.
- [59] DE WAAL, A., BARKER, I.J., Electrical Factors Affecting the Economics Optimization of Submerged-arc Furnaces, INFACON 6, Proceedings of the 6th International Ferroalloys Congress, Cape Town, Vol.1, pp. 247-252, March 1992.
- [60] JIAO, Q., THEMELIS, N.J., Correlation of Geometric Factor for Slag Resistance Electric Furnaces, Metallurgical Transactions B, Vol. 22B. pp. 183-192, April 1991.



E K L E R

Ek Tablo A.2. Standardize Edilmemiş, Ticari Bor Alaşımlarının Bileşimleri (%Ağ. %) [5].

Alaşıım	B	Al	Si	C	Mn	Ti	Diğerleri
Mangan-Bor	17.5			3.0	75		Kalan Ni
Nikel-Bor	15-18	max1	1.5				Kalan Co
Kobalt-Bor	15-18	max1					Kalan Fe
Silikobor	3-6	max1	35-45	0.2	0.5		2.5 V; Kalan Fe
BATS (*)	0.2	10	1.5			15	
BATS 79	0.5	13	5		8	20	4 Zr; Kalan Fe
Aluminyum-Bor	1-2	Kalan					
Al-Titan-Bor	~ 1	Kalan				~ 5	
Bakır-Bor	2-3						Kalan Cu

(*) : Bor-Aluminyum-Titan-Silisyum Alaşımı.

Ek Tablo A.3. Ferrobor Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri [5].

Özellik	Birim	Fe ₂ B	FeB
Yoğunluk	g/cm ³	7	6.3
Kristal sistemi		Tetragonal	Ortorombik
Latis uzunlukları: a	nm	0.5109	0.5502
b	nm		0.2948
c	nm	0.4249	0.4057
Mikrosertlik, VICKERS, 100g	kN/nm ²	13.24	16.19
Isı iletim katsayısı	W/(cm K)	0.2-0.3	0.1-0.2
Spesifik elektrik direnci			
(Oda Sıcaklığında)	Ω ohmcm	~ 10	~ 20
Direncin sıcaklıkla değişimi	Ω ohm/K	0.18	0.4
Curie Sıcaklığı	K	1015	598
Termal genleşme katsayısı	K ⁻¹	8.10 ⁻⁶	(10-16).10 ⁻⁶

Ek Tablo B.1. Tammann Fırınında Ergitme Deneyleri Başlangıç Şartları ve Sonuçları.

Deney No	H ₂ BO ₃ / Fe ₂ O ₃	Odun Kömürü (%)	Tahta Talaşı (%)	Sabit Karbon (%)	Şarj Miktarı (g)	Metal Ağırlığı (g)	Curuf:(C) Toz:(T) Ağırlık(g)	Metal Analizi(Ağ.%)	
								B	C
10.38	0.5	5.00	20.00	4.80	200	73.7	5.5;T	7.31	1.90
10.39	0.5	9.52	19.05	7.15	210	72.1	14.1;T	11.21	1.98
10.40	0.5	13.64	18.18	9.30	220	67.8	20.6;T	8.50	1.46
10.41	0.5	17.39	17.39	11.26	230	67.2	25.9;T	8.63	1.54
10.43	1.0	2.04	16.33	2.81	245	63.0	3.9;T	8.94	1.70
10.42	1.0	4.00	16.00	3.84	250	72.0	39.3;C	11.06	0.53
10.26	1.0	11.11	14.81	7.53	270	65.9	11.6;T	10.44	0.57
10.25	1.0	17.21	13.79	10.80	290	60.7	17.8;T	8.12	1.5
10.27	1.0	22.58	12.90	13.61	310	63.5	46.6;T	6.95	2.04
10.28	1.0	27.27	12.12	16.08	330	63.7	53.3;T	7.05	2.20
10.36	2.0	2.86	11.43	2.74	350	61.9	30.7;C	14.94	0.59
10.34	2.0	8.11	10.81	5.53	370	74.4	4.1;T	14.60	0.41
10.37	2.0	12.82	9.76	8.03	390	70.2	36.7;T	17.53	0.43
10.35	2.0	22.73	9.09	13.29	440	55.3	93.1;T	15.99	0.36

Ek Tablo B.2. Ark Fırınında Ergitme Deneyleri Başlangıç Şartları

Deney No	H ₃ BO ₃ / Fe ₂ O ₃	Odun Kömürü (%)	Tahta Talaşı (%)	Sabit Karbon (%)	Şarj Miktarı (g)	Fe ₂ O ₃ No	Odun Kömürü No	Besleme Hızı (g/dk)
10.84	0.44	5.41	16.67	4.64	59577	1	1	794.4
10.85	0.44	7.87	16.67	6.01	74548	1	1	564.8
10.87	0.44	13.47	16.67	9.05	64591	1	1	615.2
10.76	0.44	19.54	16.67	12.35	68836	1	1	391.1
10.84	1.12	13.84	14.36	9.01	77779	1	1	584.8
10.88	1.12	17.24	11.31	10.54	66283	1	1	552.4
10.95	1.12	17.69	13.72	11.04	62027	1	1	529.7
10.91	1.12	18.89	13.52	11.67	72270	1	1	573.6
10.96	1.12	20.00	13.33	12.25	51416	1	1	816.1
10.97	1.12	20.00	13.33	12.25	76389	1	1	621.1
10.99	1.12	20.00	13.33	12.25	139948	1	1	578.3
10.101	1.12	22.51	12.96	13.58	75052	1	1	750.5
10.100	1.12	25.00	12.50	14.88	74501	1	1	665.2
10.105	1.12	14.93	13.43	9.51	105162	2	1	399.9
10.108	1.12	15.17	14.14	12.71	141584	2	2	589.9

Ek Tablo B.3. Ark Fırınında Ergitme Deneyleri Sonuçları

Deney No.	Üretilen Ferroborların Kimyasal Analizleri (Ağ.%)										FeB Ağır- lığı (g)	Kümülatif Enerji Tüketimi (kWh)	Süre (dak)	Üretim Hızı (g/dk)
	B	C	Si	Al	Mn	Cu	Cr	Ni	S					
10.84	1.55	3.40	0.50	0.21	1.08	0.38	0.20	0.17	-	8149	43.50	75	108.7	
10.85	3.31	2.73	1.55	0.12	1.93	0.84	0.20	0.24	0.04	12248	64.20	132	92.8	
10.87	5.84	1.60	1.94	0.31	1.72	0.70	0.22	0.23	0.03	12922	60.00	105	123.1	
10.76	9.87	0.80	3.50	0.37	1.88	0.76	0.09	0.35	-	21810	116.25	176	123.9	
10.94	14.14	0.38	1.44	0.06	0.96	0.63	0.17	0.24	-	16754	87.30	133	126.0	
10.88	16.63	0.20	2.27	0.15	1.28	0.76	0.11	0.27	-	10550	83.86	120	87.9	
10.95	18.40	0.11	2.35	0.17	1.35	0.88	0.14	0.29	-	10738	77.55	118	91.0	
10.91	17.62	0.13	3.98	0.08	1.47	0.57	0.19	0.25	-	13517	83.27	126	107.3	
10.96	19.19	1.21	5.47	0.11	1.45	0.53	0.26	0.28	-	3437	38.63	63	54.6	
10.97	18.01	0.12	4.45	0.21	1.52	0.42	0.24	0.32	-	12834	84.58	123	104.3	
10.99	17.91	0.21	4.21	0.33	1.51	0.31	0.12	0.22	-	26102	164.04	242	107.9	
10.101	17.16	0.26	4.24	0.55	1.66	0.79	0.14	0.36	-	11786	70.50	100	117.9	
10.100	Ergimemiş Birikinti (9756 g)											79.46	112	
10.105	7.67	1.08	1.06	0.04	1.14	0.59	0.14	0.26	0.008	13228	98.20	263	50.3	
10.108	16.31	0.27	0.72	0.05	0.72	0.33	0.05	0.16	0.003	26623	173.58	240	110.9	

Ek C.1. Elektrik Ark Fırını Ölçüm Ve Kontrol Programı

```
10  |=====
20  |                                     I.T.Ü.
30  |                                     KİMYA-METALURJİ FAKÜLTESİ
40  |                                     METALURJİ MÜH. BÖL.
50  |                                     Doktora Tezi
60  |                                     1990-92
70  |                                     ELEKTİRİK ARK FIRINI ÖLÇÜM VE KONTROL PROGRAMI
80  |
90  |                                     ONURALP YÜCEL
100 |=====
110 INTEGER Sayac,Sayac1,En,Boy
120 DIM T1(1200),T2(1200),T3(1200),T4(1200),Z(1200)
130 REAL Volt(5,5999),Akim(5,5999)
140 DIM V(500),T(500)
150 DIM X(600),Y(600),Yave(600),Ymin(600),Ymax(600)
160 |=====
170 MAT V= (0)
180 MAT T= (0)
190 MAT T1= (0)
200 MAT T2= (0)
210 MAT T3= (0)
220 MAT T4= (0)
230 MAT Z= (0)
240 MAT Volt= (0)
250 MAT Akim= (0)
260 Sayac1=0
270 Sayac=0
280 En=0
290 Boy=0
300 Menü: |-----
310 IF Tamam=1 THEN DEALLOCATE Volt_(*),Akim_(*),Volt_1(*),Akim_1(*)
320 Tamam=0
330 CLEAR SCREEN
340 KEY LABELS OFF
350 GINIT
360 GRAPHICS ON
370 FOR K=0 TO 3 STEP .2
380     VIEWPORT 0+K,128-K,0+K,100-K
390     FRAME
400 NEXT K
410 MOVE 53,80
420 LABEL "MENÜ"
430 MOVE 30,75
440 LABEL "-----"
450 MOVE 30,65
460 LABEL "1. YENİ DENEYE BASLAMA"
470 MOVE 30,55
480 LABEL "2. GRAFİK CİZİMİ (T-t)"
490 MOVE 30,45
500 LABEL "3. GRAFİK CİZİMİ (t-V/A)"
510 MOVE 30,35
520 LABEL "4. DISK İNDEKSİ"
```

```

530 MOVE 30,25
540 LABEL "5. PROGRAM ÇIKISI"
550 PRINT TABXY(10,10)
560 INPUT " ",M
570 SELECT M
580 CASE 1
590     GOTO Okuma
600 CASE 2
610     Graph
620 CASE 3
630     GOTO Kontrol
640 CASE 4
650     GOTO Kat
660 CASE 5
670     CLEAR SCREEN
680     BEEP
690     INPUT "Çıkmak istediğinizden emin misiniz?(E/H)",C$
700     IF C$="E" THEN GOTO 740
710     IF C$="H" THEN GOTO Menü
720     IF C$<>"E" OR C$<>"H" THEN GOTO 670
730     GOTO 670
740     PRINT "Program durduruldu...Tesekkürler:"
750     GOTO Son
760 CASE ELSE
770     GOTO Menü
780 END SELECT
790 GOTO Menü
800 !
810 Okuma:  |-----
820 KEY LABELS OFF
830 CLEAR SCREEN
840 MOVE 15,20
850 LABEL "DATA ACQUISITION UNİTESİNİ ACINIZ..."
860 WAIT 5
870 CLEAR SCREEN
880 GRAPHICS ON
890 FRAME
900 PRINT TABXY(18,8);"İstediginiz termocifte ait numarayı yazınız"
910 PRINT TABXY(18,9);"-----"
920 PRINT TABXY(29,12);"1.    PT_RH_18"
930 PRINT TABXY(29,14);"2.    PT_RH_10"
940 PRINT TABXY(29,16);"3.    NI_CR_NI"
950 INPUT I
960 IF I<1 OR I>3 THEN GOTO 950
970 SELECT I
980 CASE 1
990     Read_data(V(*),T(*),"PT_RH_18")
1000 CASE 2
1010     Read_data(V(*),T(*),"PT_RH_10")
1020 CASE 3
1030     Read_data(V(*),T(*),"NI_CR_NI")
1040 CASE ELSE
1050     GOTO 900

```

```

1060 END SELECT
1070 !-----
1080 CLEAR SCREEN
1090 INPUT "DENEY ADI (MAX 9 KARAKTER):",Dos$
1100 Saat$=TIME$(TIMEDATE)
1110 Saat=TIMEDATE MOD 86400
1120 !-----
1130 I=0
1140 BEEP
1150 OUTPUT 709;"RST"
1160 CLEAR SCREEN
1170 GINIT
1180 GRAPHICS ON
1190 VIEWPORT 0,128,25,110
1200 FRAME
1210 CSIZE 2.5,.7
1220 LORG 2
1230 MOVE 44,97
1240 LABEL "SEKONDER          SEKONDER "
1250 MOVE 44,93
1260 LABEL "VOLTAJ(V)          AKIM(A)          GÜC(kW)"
1270 PRINT TABXY(3,10);"ZAMAN";TABXY(19,10);" T1(°C)";TABXY(38,10);" T2(°C)";TA
BXY(57,10);" T3(°C)";TABXY(74,10);" T4(°C)"
1280 AREA INTENSITY .5,.5,.5
1290 MOVE 42,90
1300 RECTANGLE 86,1,FILL
1310 MOVE 0,46
1320 RECTANGLE 129,7
1330 MOVE 0,46
1340 RECTANGLE 129,1,FILL
1350 MOVE 0,53
1360 RECTANGLE 129,2,FILL
1370 MOVE 40,53
1380 RECTANGLE 2,50,FILL
1390 PRINT TABXY(1,1);"DENEY ADI:"
1400 PRINT TABXY(1,2);"-----"
1410 PRINT TABXY(1,3);"BASLAMA SAATI:";Saat$
1420 PRINT TABXY(1,4);"-----"
1430 CSIZE 3.1,.45
1440 MOVE 1,58
1450 LABEL "MAX DENEY SÜRESİ 10 SAATTIR!"
1460 CSIZE 5,.4
1470 MOVE 19,94
1480 LABEL Dos$
1490 Öylesine: !-----
1500 KEY LABELS ON
1510 ON KEY 1 LABEL "DENEYE BASLAMA" GOTO Branch
1520 FOR N=2 TO 8
1530   ON KEY N LABEL "          " GOTO 1550
1540 NEXT N
1550 GOTO 1550
1560 Branch: !-----
1570 ON CYCLE 1 GOSUB Saniye
1580 ON DELAY 60 GOTO Dakika

```

```

1590 KEY LABELS ON
1600 ON KEY 1 LABEL "DENEYI BITIRME" GOTO Altson
1610 FOR N=2 TO 8
1620     ON KEY N LABEL " " GOTO 1570
1630 NEXT N
1640 GOTO 1640
1650 Dakika: !-----
1660 DIM Va(3),Ta(3)
1670 OUTPUT 709;"CONFMEAS DCV, 300,301,302,303"
1680 ENTER 709;V1,V2,V3,V4
1690 Va(0)=V1
1700 Va(1)=V2
1710 Va(2)=V3
1720 Va(3)=V4
1730 Convert(V(*),T(*),Ta(*),Va(*))
1740 T1(I)=INT(Ta(0))
1750 T2(I)=INT(Ta(1))
1760 T3(I)=INT(Ta(2))
1770 T4(I)=INT(Ta(3))
1780 PRINT TABXY(1,Sayac+12);TIME$(TIMEDATE);"----->";TABXY(19,Sayac+12);T1(I)
;TABXY(38,Sayac+12);T2(I);TABXY(57,Sayac+12);T3(I);TABXY(74,Sayac+12);T4(I)
1790 Sayac=Sayac+1
1800 Z(I)=I
1810 I=I+1
1820 IF I=1199 THEN GOTO Altson
1830 IF Sayac<8 THEN 1900
1840 IF Sayac=8 THEN
1850     FOR Pas=0 TO 7
1860     PRINT TABXY(1,Pas+12);"
"
1870     NEXT Pas
1880     Sayac=0
1890 END IF
1900 GOTO Branch
1910 Altson: !-----
1920 OFF CYCLE
1930 OFF DELAY
1940 PRINT TABXY(1,18);"DENEY SONU.OKUNAN DEGERLER KAYDEDILSIN MI? (E/H)"
1950 INPUT Istek$
1960 IF Istek$<>"E" AND Istek$<>"H" THEN GOTO 1940
1970 IF Istek$="H" THEN GOTO Menü
1980 ON ERROR GOTO 2520
1990 CLEAR SCREEN
2000 PRINT TABXY(1,18);"Deney sonuclarinin kaydedilecegi disketi,
SOLDAKI yuvaya sokup DEVAM tusuna basiniz."
2010 ON KEY 1 LABEL "DEVAM" GOTO 2070
2020 ON KEY 8 LABEL "ANA MENU" GOTO Menü
2030 FOR N=2 TO 7
2040     ON KEY N LABEL " " GOTO 1990
2050 NEXT N
2060 GOTO 2060
2070 CLEAR SCREEN
2080 KEY LABELS OFF
2090 MASS STORAGE IS ":,700,0"
2100 ALLOCATE INTEGER Z1(I),T5(I),T6(I),T7(I),T8(I)
2110 IF En=0 THEN

```

```

2120    ALLOCATE REAL Volt_(0,Boy-1),Akim_(0,Boy-1)
2130    MAT Volt_(0,*)= Volt(0,0:Boy-1)
2140    MAT Akim_(0,*)= Akim(0,0:Boy-1)
2150    CenK=(Boy/256*16)
2160  END IF
2170  IF En>=1 THEN
2180    ALLOCATE REAL Volt_(En-1,5999),Akim_(En-1,5999),Volt_1(Boy-1),Akim_1(Boy-1)
2190    MAT Volt_(0:En-1,*)= Volt(0:En-1,*)
2200    MAT Akim_(0:En-1,*)= Akim(0:En-1,*)
2210    MAT Volt_1= Volt(En,0:Boy-1)
2220    MAT Akim_1= Akim(En,0:Boy-1)
2230    CenK=(En*(12000/256)*8+(Boy/256)*16)
2240  END IF
2250  MAT Z1= Z(0:I-1)
2260  MAT T5= T1(0:I-1)
2270  MAT T6= T2(0:I-1)
2280  MAT T7= T3(0:I-1)
2290  MAT T8= T4(0:I-1)
2300  A=(I*10)/256
2310  IF INT(A)<A THEN A=INT(A)+1
2320  CREATE BDAT "T"&Dos$,A
2330  ASSIGN @P TO "T"&Dos$
2340  OUTPUT @P;I,Z1(*),T5(*),T6(*),T7(*),T8(*)
2350  ASSIGN @P TO *
2360  A=CenK+4/256
2370  IF INT(A)<A THEN A=INT(A)+1
2380  CREATE BDAT "V"&Dos$,A
2390  ASSIGN @P TO "V"&Dos$
2400  IF En=0 THEN
2410    OUTPUT @P;En,Boy,Volt_(*),Akim_(*)
2420  END IF
2430  IF En>=1 THEN
2440    OUTPUT @P;En,Boy,Volt_(*),Akim_(*),Volt_1(*),Akim_1(*)
2450  END IF
2460  ASSIGN @P TO *
2470  DEALLOCATE Z1(*),T5(*),T6(*),T7(*),T8(*),Volt_(*),Akim_(*)
2480  IF En>=1 THEN
2490    DEALLOCATE Volt_1(*),Akim_1(*)
2500  END IF
2510  GOTO Menü
2520  CLEAR SCREEN
2530  IF ERRN=54 THEN
2540    PRINT TABXY(12,55);"Bu isimde bir dosya daha önce kaydedilmiŖ!
                                Lütfen yeni bir isim girin..."
2550    INPUT Dos$
2560    DEALLOCATE Z1(*),T5(*),T6(*),T7(*),T8(*),Volt_(*),Akim_(*)
2570    IF En>=1 THEN
2580      DEALLOCATE Volt_1(*),Akim_1(*)
2590    END IF
2600    GOTO 1990

```

```

2600     GOTO 1990
2610 END IF
2620 IF ERRN=64 THEN
2630     PRINT TABXY(12,55);"Bu diskette kayıt için yeterli yer yok!
                Lütfen formatlanmış yeni bir disket takın";
2640     PRINT " ve DEVAM tusuna basın..."
2650     DEALLOCATE Z1(*),T5(*),T6(*),T7(*),T8(*),Volt_(*),Akim_(*)
2660     IF En>=1 THEN
2670         DEALLOCATE Volt_1(*),Akim_1(*)
2680     END IF
2690     GOTO 2010
2700 END IF
2710 IF ERRN<>54 AND ERRN<>64 THEN
2720     CLEAR SCREEN
2730     PRINT TABXY(12,55);"Beklenmeyen hata..."
2740     WAIT 3
2750     PRINT TABXY(12,50);"Dosya ismini yeniden giriniz..."
2760     INPUT Dos$
2770     DEALLOCATE Z1(*),T5(*),T6(*),T7(*),T8(*),Volt_(*),Akim_(*)
2780     IF En>=1 THEN
2790         DEALLOCATE Volt_1(*),Akim_1(*)
2800     END IF
2810     GOTO 1990
2820 END IF
2830 OFF ERROR
2840 Err:  |-----
2850 OFF CYCLE
2860 OFF DELAY
2870 BEEP
2880 DISP "BEKLENMEYEN HATA ("&ERRN&")"
2890 WAIT 4
2900 GOTO 1940
2910 Saniye:  |-----
2920 PRINT TABXY(0,5);"SAAT:"&TIME$(TIMEDATE)
2930 PRINT TABXY(0,6);"-----"
2940 Saat1=TIMEDATE MOD 86400
2950 Simdi=INT(Saat1-Saat)
2960 H=Simdi DIV 3600
2970 M=Simdi MOD 3600 DIV 60
2980 S=Simdi MOD 60
2990 PRINT TABXY(1,7);"DENEY SÖRESİ:";
3000 PRINT USING "#,ZZ,K";H;" ":"M ":"S
3010 OUTPUT 709;"CONFMEAS DCV,304,305"
3020 ENTER 709;Altvolt,Altakim
3030 Akim(En,Boy)=Altakim/1.28E-5
3040 Volt(En,Boy)=Altvolt
3050 PRINT
3060 PRINT TABXY(29,Sayac1+3);DROUND(Volt(En,Boy),3);TABXY(48,Sayac1+3);DROUND(
Akim(En,Boy),5);TABXY(68,Sayac1+3);DROUND(Volt(En,Boy)*Akim(En,Boy)/1000,3)
3070 Boy=Boy+1
3080 IF Boy=6000 THEN
3090     En=En+1
3100     Boy=0
3110 END IF
3120 Sayac1=Sayac1+1
3130 IF Sayac1=6 THEN

```

```

3130 IF Sayac1=6 THEN
3140   FOR Pas=0 TO 5
3150     PRINT TABXY(27,Pas+3);"
"
3160   NEXT Pas
3170   Sayac1=0
3180 END IF
3190 RETURN
3200 Kat: |-----
3210 CLEAR SCREEN
3220 ON KEY 8 LABEL "ANA      MENÜ" GOTO Menü
3230 ON KEY 1 LABEL "DEVAM" GOTO 3270
3240 FOR N=2 TO 7
3250   ON KEY N LABEL "              " GOTO 3470
3260 NEXT N
3270 INPUT "Hangi disketi görmek istiyor sunuz? (SAG///SOL)",Cev$
3280 SELECT Cev$
3290 CASE "SAG"
3300   MASS STORAGE IS ":,700,1"
3310   GOTO 3420
3320 CASE "SOL"
3330   MASS STORAGE IS ":,700,0"
3340   GOTO 3420
3350 CASE "sag"
3360   MASS STORAGE IS ":,700,1"
3370   GOTO 3420
3380 CASE "sol"
3390   MASS STORAGE IS ":,700,0"
3400   GOTO 3420
3410 END SELECT
3420 CLEAR SCREEN
3430 CAT
3440 KEY LABELS ON
3450 PRINT
3460 PRINT "Isiniz bitince ANA MENÜ; devam edecekseniz DEVAM tusuna basin..."
3470 GOTO 3470
3480 Kontrol: |-----
3490 Tamam=0
3500 CLEAR SCREEN
3510 PRINT TABXY(12,55);"Grafigini Istediginiz Deneyin Adini,
      Basina --V-- yazarak Giriniz Lütfen (VÖRNEK gibi)"
3520 INPUT " ",File$
3530 ON ERROR GOTO 8790
3540 CLEAR SCREEN
3550 KEY LABELS ON
3560 ON KEY 1 LABEL "DEVAM" GOTO 3640
3570 ON KEY 8 LABEL "ANA      MENÜ" GOTO Menü
3580 FOR N=2 TO 7
3590   ON KEY N LABEL "              " GOTO 3610
3600 NEXT N
3610 CLEAR SCREEN
3620 PRINT TABXY(12,55);"Istediginiz deneye ait sonuclari iceren disketi,
      SOLDAKI yuvaya sokup DEVAM tusuna basiniz."
3630 GOTO 3630

```

```

3630 GOTO 3630
3640 CLEAR SCREEN
3650 KEY LABELS OFF
3660 MASS STORAGE IS ":,700,0"
3670 ASSIGN @P TO File$
3680 ALLOCATE REAL Volt_(5,5999),Akim_(5,5999),Volt_1(5999),Akim_1(5999)
3690 Tamam=1
3700 ENTER @P;En,Boy
3710 IF En=0 THEN
3720     REDIM Volt_(0,Boy-1),Akim_(0,Boy-1)
3730     ENTER @P;Volt_(*),Akim_(*)
3740 END IF
3750 IF En>=1 THEN
3760     REDIM Volt_(En-1,5999),Akim_(En-1,5999),Volt_1(Boy-1),Akim_1(Boy-1)
3770     ENTER @P;Volt_(*),Akim_(*),Volt_1(*),Akim_1(*)
3780 END IF
3790 ASSIGN @P TO *
3800 REM CLEAR SCREEN
3810 PRINT TABXY(12,55);"Yeni grafikten PRINTOUT almak istiyor musunuz? (E/H)"
3820 INPUT C$
3830 IF C$<>"E" AND C$<>"H" THEN GOTO 3810
3840 IF C$="E" THEN
3850     PRINT "Yazicinizi acmayi unutmayiniz..."
3860     WAIT 2
3870 END IF
3880 CLEAR SCREEN
3890 MOVE 35,75
3900 LABEL "  --SECINIZ--"
3910 LABEL "  -----"
3920 LABEL "1--VOLTAJ-ZAMAN"
3930 LABEL "2--AKIM-ZAMAN"
3940 LABEL "3--GÜC-ZAMAN"
3950 LABEL "4--DIRENC-ZAMAN"
3960 LABEL "5--ORTALAMA GÜC"
3970 LABEL "6--VOLTAJ-AKIM"
3980 LABEL "7--ANA MENÜ"
3990 FRAME
4000 INPUT Cev
4010 SELECT Cev
4020 CASE 1
4030     GOTO V_t
4040 CASE 2
4050     GOTO A_t
4060 CASE 3
4070     GOTO G_t
4080 CASE 4
4090     GOTO V_i
4100 CASE 5
4110     GOTO G
4120 CASE 6
4130 REM GOTO V_a
4160     IF Tamam=1 THEN DEALLOCATE Volt_(*),Akim_(*),Volt_1(*),Akim_1(*)
4170     Tamam=0

```

```

4170     Tamam=0
4180     GOTO Menü
4190 END SELECT
4200 V_t: !-----
4210 Ilkdisp(N,Nn,Timer)
4220 IF En=0 THEN
4230     FOR K=0 TO Boy-1
4240         IF Volt_(0,K)>=100 THEN Volt_(0,K)=100
4250         IF Volt_(0,K)<=0 THEN Volt_(0,K)=0
4260         N=N+1
4270         Nn=Nn+1
4280         X(N)=Volt_(0,K)
4290         Xave=Xave+X(N)
4300     IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
4310         Timer=Timer+1
4320         Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
4330         Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
4340     END IF
4350     NEXT K
4360 END IF
4370 IF En>=1 THEN
4380     FOR K=0 TO En-1
4390         FOR P=0 TO 5999
4400             IF Volt_(K,P)>=100 THEN Volt_(K,P)=100
4410             IF Volt_(K,P)<=0 THEN Volt_(K,P)=0
4420             N=N+1
4430             Nn=Nn+1
4440             X(N)=Volt_(K,P)
4450             Xave=Xave+X(N)
4460         IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
4470             Timer=Timer+1
4480             Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
4490             Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
4500         END IF
4510         NEXT P
4520     NEXT K
4530     FOR K=0 TO Boy-1
4540         IF Volt_1(K)>=100 THEN Volt_1(K)=100
4550         IF Volt_1(K)<=0 THEN Volt_1(K)=0
4560         N=N+1
4570         Nn=Nn+1
4580         X(N)=Volt_1(K)
4590         Xave=Xave+X(N)
4600     IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
4610         Timer=Timer+1
4620         Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
4630         Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
4640     END IF
4650     NEXT K
4660 END IF
4670 Ylabl$="VOLTAJ/V"
4680 Ylbl=8
4690 Iniplt1(Ylabl$,Ylbl,File$)
4700 Zaman=En*6000
4710 Zmn=Zaman+Boy

```

```

4710 Zmn=Zaman+Boy
4720 IF Zmn<3500 THEN B=60
4730 IF Zmn>3500 AND Zmn<15000 THEN B=900
4740 IF Zmn>15000 THEN B=1800
4750 VIEWPORT 10,120,20,90
4760 FRAME
4770 WINDOW 0,Zmn,0,100
4780 AXES 60,5,0,0,5,2,5
4790 CLIP OFF
4800 CSIZE 2.5,.5
4810 LONG 6
4820 FOR K=0 TO Zmn STEP B
4830     MOVE K,0
4840     LABEL USING "#,K";K/60
4850 NEXT K
4860 LONG 8
4870 FOR K=0 TO 100 STEP 5
4880     MOVE 0,K
4890     LABEL USING "#,K";K
4900 NEXT K
4910 Runplot(Timer,Y(*),Ymin(*),Yave(*),Ymax(*))
4920 Tamam=1
4930 GOTO 8690
4940 A_t:  !-----
4950 Ilkdisp(N,Nn,Timer)
4960 IF En=0 THEN
4970     FOR K=0 TO Boy-1
4980         IF Akim_(0,K)>=3000 THEN Akim_(0,K)=3000
4990         IF Akim_(0,K)<=0 THEN Akim_(0,K)=0
5000         N=N+1
5010         Nn=Nn+1
5020         X(N)=Akim_(0,K)
5030         Xave=Xave+X(N)
5040         IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
5050             Timer=Timer+1
5060             Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5070             Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5080         END IF
5090     NEXT K
5100 END IF
5110 IF En>=1 THEN
5120     FOR K=0 TO En-1
5130         FOR P=0 TO 5999
5140             IF Akim_(K,P)>=3000 THEN Akim_(K,P)=3000
5150             IF Akim_(K,P)<=0 THEN Akim_(K,P)=0
5160             N=N+1
5170             Nn=Nn+1
5180             X(N)=Akim_(K,P)
5190             Xave=Xave+X(N)
5200             IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
5210                 Timer=Timer+1
5220                 Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5230                 Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5240             END IF

```

```

5250     NEXT P
5260     NEXT K
5270     FOR K=0 TO Boy-1
5280         IF Akim_1(K)>=3000 THEN Akim_1(K)=3000
5290         IF Akim_1(K)<=0 THEN Akim_1(K)=0
5300         N=N+1
5310         Nn=Nn+1
5320         X(N)=Akim_1(K)
5330         Xave=Xave+X(N)
5340     IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
5350         Timer=Timer+1
5360         Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5370         Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5380     END IF
5390     NEXT K
5400 END IF
5410 Ylab1$="AKIM/A"
5420 Ylbl=6
5430 Iniplt1(Ylab1$,Ylbl,File$)
5440 Zaman=En*6000
5450 Zmn=Zaman+Boy
5460 IF Zmn<3600 THEN B=60
5470 IF Zmn>3600 AND Zmn<15000 THEN B=900
5480 IF Zmn>15000 THEN B=1800
5490 VIEWPORT 10,120,20,90
5500 FRAME
5510 WINDOW 0,Zmn,0,3000
5520 AXES 60,100,0,0,5,2,5
5530 CLIP OFF
5540 CSIZE 2.5,.5
5550 LORG 6
5560 FOR K=0 TO Zmn STEP B
5570     MOVE K,0
5580     LABEL USING "#,K";K/60
5590 NEXT K
5600 LORG 8
5610 FOR K=0 TO 3000 STEP 200
5620     MOVE 0,K
5630     LABEL USING "#,K";K
5640 NEXT K
5650 Runplot(Timer,Y(*),Ymin(*),Yave(*),Ymax(*))
5660 Tamam=1
5670 GOTO 8690
5680 6_t: |-----
5690 Ilkdisp(N,Nn,Timer)
5700 IF En=0 THEN
5710     FOR K=0 TO Boy-1
5720         Guc=Akim_(0,K)*Volt_(0,K)/1000
5730         IF Guc>=150 THEN Guc=150
5731         IF Guc<=0 THEN Guc=0
5750         N=N+1
5760         Nn=Nn+1
5770         X(N)=Guc
5780         Xave=Xave+X(N)

```

```

5790 IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
5800 Timer=Timer+1
5810 Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5820 Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5830 END IF
5840 NEXT K
5850 END IF
5860 IF En>=1 THEN
5870 FOR K=0 TO En-1
5880 FOR P=0 TO 5999
5890 Guc=Akim_(K,P)*Volt_(K,P)/1000
5900 IF Guc>=150 THEN Guc=150
5910 IF Guc<=0 THEN Guc=0
5920 N=N+1
5930 Nn=Nn+1
5940 X(N)=Guc
5950 Xave=Xave+X(N)
5960 IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
5970 Timer=Timer+1
5980 Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
5990 Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
6000 END IF
6010 NEXT P
6020 NEXT K
6030 FOR K=0 TO Boy-1
6040 Guc=Akim_1(K)*Volt_1(K)/1000
6050 IF Guc>=150 THEN Guc=150
6060 IF Guc<=0 THEN Guc=0
6070 N=N+1
6080 Nn=Nn+1
6090 X(N)=Guc
6100 Xave=Xave+X(N)
6110 IF (Nn MODULO 60)=0 THEN
6120 Timer=Timer+1
6130 Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
6140 Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
6150 END IF
6160 NEXT K
6170 END IF
6180 Ylabl$="GUC/kW"
6190 Ylbl=6
6200 Iniplt1(Ylabl$,Ylbl,File$)
6210 Zaman=En*6000
6220 Zmn=Zaman+Boy
6230 IF Zmn<3600 THEN B=60
6240 IF Zmn>3600 AND Zmn<15000 THEN B=900
6250 IF Zmn>15000 THEN B=1800
6260 VIEWPORT 10,120,20,90
6270 FRAME
6280 WINDOW 0,Zmn,0,150
6290 AXES 60,5,0,0,5,2,5
6300 CLIP OFF
6310 CSIZE 2.5,.5
6320 LONG 6

```

```

6330 FOR K=0 TO Zmn STEP B
6340   MOVE K,0
6350   LABEL USING "#,K";K/50
6360 NEXT K
6370 LONG 8
6380 FOR K=0 TO 150 STEP 10
6390   MOVE 0,K
6400   LABEL USING "#,K";K
6410 NEXT K
6420 Runplot(Timer,Y(*),Ymin(*),Yave(*),Ymax(*))
6430 Tamam=1
6440 GOTO 8690
6450 V_i: 1-----
6460 REAL Ze
6470 Ilkdisp(N,Nn,Timer)
6480 IF En=0 THEN
6490   FOR K=0 TO Boy-1
6500     LINE TYPE 2
6510     IF Akim_(0,K)<=0 OR Volt_(0,K)<=0 THEN
6520       Ze=0
6530     ELSE
6540       Ze=Volt_(0,K)/Akim_(0,K)
6550     END IF
6560     IF Ze>.1 THEN Ze=.1
6570     N=N+1
6580     Nn=Nn+1
6590     X(N)=Ze
6600     Xave=Xave+X(N)
6610     IF (Nn MODULO 50)=0 THEN
6620       Timer=Timer+1
6630       Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
6640       Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
6650     END IF
6660   NEXT K
6670 END IF
6680 ! *****
6690 IF En>=1 THEN
6700   FOR K=0 TO En-1
6710     FOR P=0 TO 5999
6720       LINE TYPE 1
6730       IF Akim_(K,P)<=0 OR Volt_(K,P)<=0 THEN
6740         Ze=0
6750       ELSE
6760         Ze=Volt_(K,P)/Akim_(K,P)
6770       END IF
6780       IF Ze>.1 THEN Ze=.1
6790       N=N+1
6800       Nn=Nn+1
6810       X(N)=Ze
6820       Xave=Xave+X(N)
6830       IF (Nn MODULO 50)=0 THEN
6840         Timer=Timer+1
6850         Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))

```

```

6850          Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
6860          Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
6870      END IF
6880      NEXT P
6890  NEXT K
6900  ! ++++++
6910  FOR K=0 TO Boy-1
6920      IF Akim_1(K)<=0 OR Volt_1(K)<=0 THEN
6930          Ze=0
6940      ELSE
6950          Ze=Volt_1(K)/Akim_1(K)
6960      END IF
6970      IF Ze>.1 THEN Ze=.1
6980      N=N+1
6990      Nn=Nn+1
7000      X(N)=Ze
7010      Xave=Xave+X(N)
7020      IF (Nn MODULO 50)=0 THEN
7030          Timer=Timer+1
7040          Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7050          Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7060      END IF
7070  NEXT K
7080  END IF
7090  ! =====
7100  Ylab1$="DIRENC/Ohm"
7110  Ylb1=10
7120  Inip1t1(Ylab1$,Ylb1,File$)
7130  Zaman=En*6000
7140  Zmn=Zaman+Boy
7150  IF Zmn<3600 THEN B=60
7160  IF Zmn>3600 AND Zmn<15000 THEN B=900
7170  IF Zmn>15000 THEN B=1800
7180  VIEWPORT 10,120,20,90
7190  FRAME
7200  WINDOW 0,Zmn,-.01,.1
7210  AXES 60,.01,0,-.01,5,1,5
7220  CLIP OFF
7230  CSIZE 2.5,.5
7240  LORG 6
7250  FOR K=0 TO Zmn STEP B
7260      MOVE K,-.01
7270      LABEL USING "#,K";K/60
7280  NEXT K
7290  LORG 8
7300  FOR K=-.01 TO .10 STEP .01
7310      MOVE 0,K
7320      LABEL USING "#,DD.DD";K
7330  NEXT K
7340  Runplot(Timer,Y(*),Ymin(*),Yave(*),Ymax(*))
7350  Tamam=1
7360  GOTO 8690
7370 6:      !-----
7380  REAL 6uc

```

```

7390 Ilkdisp(N,Nn,Timer)
7400 IF En=0 THEN
7410   FOR K=0 TO Boy-1
7420     Guc=Volt_(0,K)*Akim_(0,K)
7430     IF Guc>=150000 THEN Guc=150000
7440     IF Guc<=0 THEN Guc=0
7450     N=N+1
7460     Nn=Nn+1
7470     X(N)=Guc/1000
7480     Xave=Xave+X(N)
7490     IF (Nn MODULO 50)=0 THEN
7500       Timer=Timer+1
7510       Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7520       Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7530     END IF
7540   NEXT K
7550 END IF
7560 ! =====
7570 IF En>=1 THEN
7580   FOR K=0 TO En-1
7590     FOR P=0 TO 5999
7600       Guc=Volt_(K,P)*Akim_(K,P)
7610       IF Guc>=150000 THEN Guc=150000
7620       IF Guc<=0 THEN Guc=0
7630       N=N+1
7640       Nn=Nn+1
7650       X(N)=Guc/1000
7660       Xave=Xave+X(N)
7670       IF (Nn MODULO 50)=0 THEN
7680         Timer=Timer+1
7690         Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7700         Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7710       END IF
7720     NEXT P
7730   NEXT K
7740 ! =====
7750   FOR K=0 TO Boy-1
7760     Guc=Volt_1(K)*Akim_1(K)
7770     IF Guc>=150000 THEN Guc=150000
7780     IF Guc<=0 THEN Guc=0
7790     N=N+1
7800     Nn=Nn+1
7810     X(N)=Guc/1000
7820     Xave=Xave+X(N)
7830     IF (Nn MODULO 50)=0 THEN
7840       Timer=Timer+1
7850       Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7860       Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
7870     END IF
7880   NEXT K
7890 END IF
7900 INPUT " Deney araliginda ortalama guc hesabi icin (E/H) : ",Ans$
7910 IF Ans$="e" OR Ans$="E" THEN
7920   INPUT " Baslangic zamanini dakika olarak yazin : ",Ilk
7930   INPUT " Bitis zamanini dakika olarak yazin : ",Son

```

```

7920 CLEAR SCREEN
7930 Ilkdisp(N,Nn,Timer)
7940 Xave=0
7950 FOR J=Ilk TO Son
7960   N=N+1
7970   Timer=Timer+1
7980   X(N)=Y(J)
7990   Xave=Xave+X(N)
8000 NEXT J
8010       Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
8020       Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
8030 END IF
8040 Tamam=1
8050 GOTO 8690
8060 V_a: !-----
8070 Ilkdisp(N,Nn,Timer)
8080   IF En=0 THEN
8090     FOR K=0 TO Boy-1
8100       IF Volt_(0,K)>=100 THEN Volt_(0,K)=100
8110       IF Volt_(0,K)<=0 THEN Volt_(0,K)=0
8120       IF Akim_(0,K)>=3000 THEN Akim_(0,K)=3000
8130       IF Akim_(0,K)<=0 THEN Akim_(0,K)=0
8140     NEXT K
8150   END IF
8160   IF En>=1 THEN
8170     FOR K=0 TO En-1
8180       FOR P=0 TO 5999
8190         IF Volt_(K,P)>=100 THEN Volt_(K,P)=100
8200         IF Volt_(K,P)<=0 THEN Volt_(K,P)=0
8210         IF Akim_(K,P)>=3000 THEN Akim_(K,P)=3000
8220         IF Akim_(K,P)<=0 THEN Akim_(K,P)=0
8230       NEXT P
8240     NEXT K
8250     FOR K=0 TO Boy-1
8260       IF Volt_1(K)>=100 THEN Volt_1(K)=100
8270       IF Volt_1(K)<=0 THEN Volt_1(K)=0
8280       IF Akim_1(K)>=3000 THEN Akim_1(K)=3000
8290       IF Akim_1(K)<=0 THEN Akim_1(K)=0
8300     NEXT K
8310   END IF
8320 CLEAR SCREEN
8330 GINIT
8340 PLOTTER IS CRT,"INTERNAL"
8350 GRAPHICS ON
8360 MOVE 2,65
8370 Label$="VOLTAJ/V"
8380 FOR K=1 TO 8
8390   LABEL Label$[K,K]
8400 NEXT K
8410 MOVE 45,10
8420 LABEL "AKIM/A"
8430 FOR N=0 TO .5 STEP .1
8440   MOVE 30+N,90

```

```

8450     LORG 1
8460     CSIZE 7
8470     LABEL "FERROBOR--";File$
8480     NEXT N
8490     FRAME
8500     VIEWPORT 10,120,20,90
8510     FRAME
8520     WINDOW 0,3000,0,100
8530     AXES 100,5,0,0,2,2,5
8540     CLIP OFF
8550     CSIZE 2.5,.5
8560     LORG 6
8570     FOR K=0 TO 3000 STEP 200
8580     MOVE K,0
8590     LABEL USING "#,K";K
8600     NEXT K
8610     LORG 8
8620     FOR K=0 TO 100 STEP 5
8630     MOVE 0,K
8640     LABEL USING "#,K";K
8650     NEXT K
8660     Tamam=1
8670     GOTO 8690
8680     ! -----
8690     IF C$="E" THEN
8700         DUMP DEVICE IS 701
8710         DUMP GRAPHICS
8720     END IF
8730     WAIT 10
8740     PRINT TABXY(12,55);"Devam icin herhangi bir tusa basin lütfen!"
8750     ON KBD GOTO 8770
8760     GOTO 8760
8770     KEY LABELS OFF
8780     GOTO 3800
8790     IF ERRN=56 THEN
8800         CLEAR SCREEN
8810         PRINT TABXY(12,55);"Bu isimde bir data dosyasi yok!Lütfen tekrar deneyin
:"
8820         KEY LABELS OFF
8830         Tamam=0
8840         GOTO 3520
8850     END IF
8860     REM CLEAR SCREEN
8870     BEEP
8880     PRINT " BEKLENMIYEN HATA ! ... Satir No.su ";ERRLN;" Hata kodu ";ERRN
8890     WAIT 15
8900     KEY LABELS OFF
8910     GOTO Menü
8920     OFF ERROR
8930     Son: ! -----
8940     KEY LABELS ON
8950     END
8960     ! -----
8970     SUB Read_data(V(*),T(*),File$)
8980         CLEAR SCREEN
8990         KEY LABELS ON
9000         GRAPHICS ON

```

```

9010 VIEWPORT 0,130,0,100
9020 FRAME
9030 PRINT TABXY(12,55);"Termocift datalarini iceren diski SAGDAKI yuvaya sok
up,                                DEVAM tusuna basiniz."
9040 ON KEY 1 LABEL "DEVAM" GOTO 9090
9050 FOR N=2 TO 8
9060     ON KEY N LABEL " " GOTO 8980
9070 NEXT N
9080 GOTO 9080
9090 CLEAR SCREEN
9100 KEY LABELS OFF
9110 MASS STORAGE IS ":",700,1"
9120 ASSIGN @Path TO File$
9130 ENTER @Path;I
9140 REDIM V(I-1),T(I-1)
9150 ENTER @Path;V(*),T(*)
9160 ASSIGN @Path TO *
9170 KEY LABELS OFF
9180 SUBEND
9190 !-----
9200 SUB Graph
9210     ON ERROR GOTO Err1
9220     CLEAR SCREEN
9230     VIEWPORT 0,130,0,100
9240     FRAME
9250     PRINT TABXY(12,55);"Grafigini Istediginiz Deneyin Adini,
Basina ---T--- Yazarak Giriniz Lütfen (TÖRNEK gibi)"
9260     INPUT " ",File$
9270     CLEAR SCREEN
9280     KEY LABELS ON
9290     ON KEY 1 LABEL "DEVAM" GOTO 9360
9300     ON KEY 8 LABEL "ANA MENU" GOTO 10320
9310     FOR N=2 TO 7
9320         ON KEY N LABEL " " GOTO 9270
9330     NEXT N
9340     PRINT TABXY(12,55);"Deney sonuclarini iceren diski,SOLDAKI yuvaya koyup
DEVAM tusuna basiniz..."
9350     GOTO 9350
9360     CLEAR SCREEN
9370     PRINT TABXY(12,55);"PRINTOUT almak istiyor musunuz? (E/H)"
9380     INPUT C$
9390     IF C$<>"E" AND C$<>"H" THEN GOTO 9370
9400     IF C$="E" THEN
9410         PRINT "Yazicinizi acmayi unutmayiniz..."
9420         WAIT 3
9430     END IF
9440     KEY LABELS OFF
9450     MASS STORAGE IS ":",700,0"
9460     ALLOCATE INTEGER Za(1200),A1(1200),A2(1200),A3(1200),A4(1200)
9470     ASSIGN @P TO File$
9480     ENTER @P;I
9490     REDIM Za(I-1),A1(I-1),A2(I-1),A3(I-1),A4(I-1)
9500     ENTER @P;Za(*),A1(*),A2(*),A3(*),A4(*)
9510     ASSIGN @P TO *
9520     OFF ERROR
9530     MAT SEARCH A1,MAX;Max

```

```

9540 CLEAR SCREEN
9550 GINIT
9560 PLOTTER IS CRT,"INTERNAL"
9570 GRAPHICS ON
9580 FOR N=0 TO .5 STEP .1
9590     MOVE 30+N,90
9600     LORG 1
9610     CSIZE 7
9620     LABEL "FERROBOR--";File$
9630 NEXT N
9640 FRAME
9650 MOVE 1,65
9660 CSIZE 5
9670 Label$="SICAKLIK"
9680 FOR K=1 TO 8
9690     LABEL Label$[K,K]
9700 NEXT K
9710 MOVE 45,10
9720 LABEL "ZAMAN (DAK)"
9730 IF SIZE(Za,1)<100 THEN B=10
9740 IF SIZE(Za,1)>100 THEN B=100
9750 VIEWPORT 10,120,20,90
9760 FRAME
9770 WINDOW 0,SIZE(Za,1),0,Max+80
9780 AXES 10,10,0,0,2,10,5
9790 CLIP OFF
9800 CSIZE 2.5,.5
9810 LORG 6
9820 FOR K=0 TO SIZE(Za,1) STEP 20
9830     MOVE K,0
9840     LABEL USING "#,K";K
9850 NEXT K
9860 LORG 8
9870 FOR K=Min TO Max+50 STEP 50
9880     MOVE 0,K
9890     LABEL USING "#,K";K
9900 NEXT K
9910 MOVE Za(0),A1(0)
9920 FOR K=0 TO I-1
9930     LINE TYPE 1
9940     PLOT Za(K),A1(K)
9950 NEXT K
9960 MOVE Za(0),A2(0)
9970 FOR K=0 TO I-1
9980     LINE TYPE 1
9990     PLOT Za(K),A2(K)
10000 NEXT K
10010 MOVE Za(0),A3(0)
10020 FOR K=0 TO I-1
10030     LINE TYPE 1
10040     PLOT Za(K),A3(K)
10050 NEXT K
10060 MOVE Za(0),A4(0)

```

```

10070 FOR K=0 TO I-1
10080 LINE TYPE 1
10090 PLOT Za(K),A4(K)
10100 NEXT K
10110 IF C$="E" THEN
10120 DUMP DEVICE IS 701
10130 DUMP GRAPHICS
10140 END IF
10150 ON KBD GOTO 10170
10160 WAIT 10
10170 PRINT "Devam icin bir tusa basin lütfen!"
10180 ON KBD GOTO 10320
10190 GOTO 10190
10200 Err1: !
10210 IF ERRN=56 THEN
10220 BEEP
10230 PRINT TABXY(11,55); "---Diskette bu isimde bir dosya yok!Lütfen tekrar
deneyin.---"
10240 WAIT 2
10250 DEALLOCATE Za(*),A1(*),A2(*),A3(*),A4(*)
10260 GOTO 9260
10270 ELSE
10280 DISP ERRLN;"'DA BEKLENMEYEN HATA (";ERRN;")"
10290 WAIT 5
10300 END IF
10310 OFF ERROR
10320 SUBEND
10330 !-----
10340 SUB Convert(V_(*),T_(*),Ta(*),Va(*))
10350 LET S=0
10360 IF S=4 THEN SUBEXIT
10370 FOR J=1 TO SIZE(V_,1)-1
10380 IF Va(S)*1000>V_(J) THEN GOTO Next_j
10390 IF Va(S)*1000=V_(J) THEN GOTO Subexit
10400 IF Va(S)*1000<V_(J) THEN
10410 Delta_1=Va(S)*1000-V_(J-1)
10420 Delta_2=V_(J)-V_(J-1)
10430 Delta_temp=T_(J)-T_(J-1)
10440 Ta(S)=T_(J-1)+Delta_temp*Delta_1/Delta_2+28
10450 LET S=S+1
10460 GOTO 10360
10470 END IF
10480 Next_j:NEXT J
10490 Subexit: !
10500 Ta(S)=T_(J)+28
10510 LET S=S+1
10520 GOTO 10360
10530 SUBEND
10540 ! *****
10550 SUB Orta(N,It,Xave,Timer,X(*),Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
10560 Big=1.E+30
10570 Afac=1.5
10580 Amp=1.5
10590 Xave=Xave/N

```

```

10600 Xmax=MAX(X(*))
10610 A=.5*(X(1)+X(N))
10620 Eps=ABS(X(N)-X(1))
10630 Ap=Big
10640 Am=-Big
10650 It=0
10660 Ssum=0!
10670 Sumx=0!
10680 Np=0
10690 Nm=0
10700 Xp=Big
10710 Xm=-Big
10720 Xmin=X(1)
10730 FOR J=1 TO N
10740 IF Xmin>X(J) THEN Xmin=X(J)
10750 Xx=X(J)
10760 IF Xx<>A THEN
10770 IF Xx>A THEN
10780 Np=Np+1
10790 IF Xx<Xp THEN Xp=Xx
10800 END IF
10810 IF Xx<A THEN
10820 Nm=Nm+1
10830 IF Xx>Xm THEN Xm=Xx
10840 END IF
10850 Dum=1/(EPS+ABS(Xx-A))
10860 Ssum=Ssum+Dum
10870 Sumx=Sumx+Xx*Dum
10880 END IF
10890 NEXT J
10900 It=It+1
10910 IF It>N THEN
10920 Xmed=0
10930 GOTO 11230
10940 END IF
10950 IF Np-Nm>=2 THEN
10960 Am=A
10970 Aa=Xp+MAX(0.,Sumx/Ssum-A)*Amp
10980 IF Aa>Ap THEN Aa=.5*(A+Ap)
10990 Eps=Afac*ABS(Aa-A)
11000 A=Aa
11010 GOTO 10660
11020 END IF
11030 IF Nm-Np>=2 THEN
11040 Ap=A
11050 Aa=Xm+MIN(0.,Sumx/Ssum-A)*Amp
11060 IF (Aa<Am) THEN Aa=.5*(A+Am)
11070 Eps=Afac*ABS(Aa-A)
11080 A=Aa
11090 GOTO 10660
11100 END IF
11110 IF Np-Nm<2 OR Nm-Np<2 THEN
11120 IF N MOD 2=0 THEN

```

```

11130     IF Np=Nm THEN Xmed=.5*(Xp+Xm)
11140     IF Np>Nm THEN Xmed=.5*(A+Xp)
11150     IF Np<Nm THEN Xmed=.5*(Xm+A)
11160     END IF
11170     IF N MOD 2<>0 THEN
11180         IF Np=Nm THEN Xmed=A
11190         IF Np>Nm THEN Xmed=Xp
11200         IF Np<Nm THEN Xmed=Xm
11210     END IF
11220     END IF
11230     Y(Timer)=Xmed
11240     Yave(Timer)=Xave
11250     Ymin(Timer)=Xmin
11260     Ymax(Timer)=Xmax
11270     N=0
11280     Xave=0
11290     SUBEND
11300     ! -----
11310     SUB Runplot(Timer,Y(*),Ymin(*),Yave(*),Ymax(*))
11320     M=0
11330     FOR J=1 TO Timer
11340     M=M+60
11350         MOVE M,Y(J)
11360         LORG 5
11370         LABEL "*"
11380         MOVE M,Yave(J)
11390         LORG 5
11400         LABEL "+"
11410         MOVE M,Ymin(J)
11420         DRAW M,Ymax(J)
11430     NEXT J
11440     BEEP
11450     SUBEND
11460     ! -----
11470     SUB Ilkdisp(N,Nn,Timer)
11480     CLEAR SCREEN
11490     Nn=0
11500     N=0
11510     Timer=0
11520     PRINT TABXY(1,10)," "
11530     PRINT USING "5X,6A,5X,9A,5X,3A,5X,3A,5X,6A,5X,3A";"Dakika";"Iterasyon";"M
IN";"AVE";"MEDIAN";"MAX"
11540     SUBEND
11550     ! -----
11560     SUB Valdisp(Timer,It,Y(*),Yave(*),Ymin(*),Ymax(*))
11570     PRINT TABXY(1,12)," "
11580     PRINT USING "4X,DDDD,10X,DDD,4X,DDDD.DDD,1X,DDDD.DDD,2X,DDDD.DDD,1X,DDDD
.DDD";Timer;It;Ymin(Timer),Yave(Timer),Y(Timer),Ymax(Timer)
11590     SUBEND
11600     ! -----
11610     SUB Iniplt1(Ylabl$,Ylbl,File$)
11620     CLEAR SCREEN
11630     GINIT
11640     PLOTTER IS CRT,"INTERNAL"
11650     GRAPHICS ON

```

```
11660 MOVE 2,65
11670 FOR K=i TO Ylb1
11680   LABEL Ylab1$(K,K)
11690 NEXT K
11700 MOVE 45,10
11710 LABEL "ZAMAN (DAK)"
11720 FOR N=0 TO .5 STEP .1
11730   MOVE 30+N,90
11740   LORG 1
11750   CSIZE 7
11760   LABEL "FERROBOR--";File$
11770 NEXT N
11780 FRAME
11790 SUBEND
11800 ! -----
```



Ek Tablo D.1.

X-Işınları Analizi Sonucu Saptanmış Bileşiklerin Kart Numaraları.

<u>Bileşik</u>	<u>Kart No</u>
H ₃ B ₃ O ₃	30-0199
B ₂ O ₃	6-0634
HB ₂ O ₂	15-0868
Fe ₂ O ₃	33-0664
Fe ₃ O ₄	19-0629
C	34-0567
Fe(B ₂ O ₃) ₂	3-0186
FeB ₄ O ₇	21-0422
SiO ₂	29-0085
SiO	30-1127
SiC	29-1129
Fe	6-0696
Fe ₂ B	36-1332
FeB	32-0463
Fe ₃ Si	35-0519
(Fe, C)	31-0619
Fe ₂ B ₆	34-0991
C ₁₇ Fe ₈ Si ₂	19-0628
FeSi	38-1397
Al ₂ O ₃ .SiO ₂	29-0084

ÖZ GEÇMİŞ

Onuralp YÜCEL 1961 yılında Diyarbakırda doğmuştur. İlk öğrenimi Üsküdar İcadiye İlk okulunda, orta öğrenimi de Kadıköy Orta Okulu ve Erzurum Atatürk Lisesinde tamamlamıştır. 1979 yılında kaydolduğu İ.T.Ü. Metalurji Fakültesinden 1983 yılında Metalurji Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1983 yılında İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya-Metalurji Ana Bilim Dalında başladığı Yüksek Lisans eğitimini 1986 yılında tamamlayarak Metalurji Yüksek Mühendis ünvanını kazanmıştır. Aynı yıl aynı enstitüde doktora programına katılmaya hak kazanmıştır. Alman Teknik İşbirliği çerçevesinde Ocak 1987-Mart 1988 tarihleri arasında Berlin Teknik Üniversitesinde görevlendirilmiştir. Bu süre sonunda Nisan 1984 yılından beri çalışmakta olduğu Kimya-Metalurji Fakültesindeki Araştırma Görevlisi kadrosunda, doktora çalışmalarına devam etmiştir. Halen 6'sı yabancı dilde olmak üzere 10 adet yayını vardır.