T.C.
ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YERLİ KAYNAKLAR KULLANILARAK KARBOTERMİK YÖNTEMLE FERROBOR ÜRETİMİNDE ALÜMİNYUMUN ETKİSİ

Yunus ÖZ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2016

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Yunus ÖZ tarafından hazırlanan ‘Yerli Kaynaklar Kullanılarak Karbotermik Yöntemle Ferrobor Üretiminde Alüminyumun Etkisi” adlı tez çalışması 09.12.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI

Jüri Üyeleri:

Başkan:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Tamer KEÇELİ
Enstitü Müdür V.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERLİ KAYNAKLAR KULLANILARAK KARBOTERMİK YÖNTEMLE FERROBOR ÜRETİMİNDE ALÜMİNYUMUN ETKİSİ

Yunus ÖZ

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI
Eş Danışman: Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Ülkemizde ekonomik değeri olan bor cevherinden üretilmiş ticari değere sahip ürünlerin üretimi çok sınırlı orandadır. Bu bakımdan önemli oranda bor kaynağı rezervine sahip olan ülkemizde ferrobor üretimi konusunun önemli olduğu hususu nedeniyle bu tez çalışmasında ferrobor üretimi konusu seçilmiştir.

Çalışmada B_2O_3, düşük karbonlu çelik ve kömür tozu kullanılarak karbotermik yöntemle ferrobor üretimi yapılırken ilave edilen alüminyum elementinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 5 farklı grup altında ferrobor üretimi yapılmıştır. 1. Gruptaki toz bileşimine alüminyum katılmamış olup, diğer gruptakilere artan oranda alüminyum ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlar tez çalışması dahilinde imal edilen ark sisteminde ergitilmiş ve hedeflenen ferrobor alaşımları üretilmiştir. Ferrobor üretiminden sonra, üretilen alaşımlar üzerinde XRD ve XRF analizleri ve SEM ve optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Sonuçta, boroksitten karbotermik yöntemle ferrobor üretiminde ilave edilen alüminyum elementinin ferrobor alaşımına geçen bor miktarını arttırdığı görülmüştür. Bu durum alüminyum elementiyle oksitli bileşikler arasındaki alüminatermik reaksiyonla ve bu reaksiyon sonucunda meydana gelen sıcaklık artışıyla ilişkilendirilmiştir.

2016, 83 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Ferrobor, Karbotermik reaksiyon, Alüminatermik reaksiyon, Demir borür.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EFFECT OF ALUMİNİUM İN THE PRODUCTİON OF FERROBORON BY CARBOTHERMİC METHOD USİNG INDİGENOUS RESOURCES

Çankırı Karatekin University
Institute of Science and Technology
Chemical Engineering Department

Advisor: Prof. Dr. Ahmet YARTAŞIER
Co-advisor: Prof.Dr. Mehmet EROĞLU

The production of products produced from boron compounds with oxides, having echonomical value, is very limeted in our country. As it was thought that the production of ferroboron is important for our country, which has great amount of boron resorcous, the subject of production of ferroboron was choosen for this master thesis.

In this thesis, it was investigated the effect of aluminium element in the production of ferroboron by carbothermic methot adding to B_2O_3, low carbon steel and coil powder mixtures. In the study, the ferroboron was produced under 5 diffrent groups of powder mixtures. In the fist group the powder mixture aluminium was not used and in the other groups the content of aluminium in the powder mixture was increased, gradually. The powder mixtures were melted using an arc melting system that was made in the thesis stdudies and the ferroboron alloys were produced. After production of ferroboron, XRD and XRF analaysis and microstructural investigations with SEM and optical microscopy were performed. As a result, it was seen that aluminium element increased the boron content of the ferroboron produced by carbothermic method. This is related the aluminathermic reaction happening between oxide compounds and aluminium and the heat increas as a result of this reaction.

2016, 83 Pages

Keywords: Ferroboron , Carbothermic reaction, Aluminatermic reaction, Ironboride.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Yerli Kaynaklar Kullanılarak Karbotermik Yöntemle Ferrobor Üretiminde Alüminyumun Etkisi" adlı bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı yüksek lisans tez konusu olarak sunulacaktır. Başlangıç aşamasından, çalışmanın sonlandırılmasına kadar geçen sürede yardım ve desteklerini esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

Çalışmanın her safhasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren, her türlü yardımını esirgemeyen, her zaman destekleyen, bana karşı hoşgörü ve anlayışı ile sınır tanımayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI' ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmanın konusunun belirlenmesinde kıymetli fikirlerini esirgemeden sunan, benden ilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında değerli görüşleriyle katkıda bulunan, eş danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet EROĞLU' na çok teşekkür ederim.

Ayrıca hem maddi hem de manevi olarak destekleyen ve her durumda yanımda olan değerli eşim Metalurji ve Malzeme Mühendisi Sultan İŞLEYEN ÖZ' e sonsuz teşekkür ederim.

MF111115L35 Proje Numaralı "Yerli Kaynaklar Kullanılarak Karbotermik Yöntemle Ferrobor Üretiminde Alüminyumun Etkisi" adlı bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Yunus ÖZ
Çankırı, Aralık 2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....III
SUMMARY.....IV
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....VII
TABLOLAR DİZİNİ.....IX
1. GİRİŞ.....1
2. KURAMSAL TEMELLER.....5
2.1 Ferroborun Genel Özellikleri.....5
2.2 Ferroborun Üretim Yöntemleri.....7
2.2.1 Aluminatermik veya ekzotermik yöntem…….....…….....8
2.2.2 Silikotermik yöntem …….....10
2.2.3 Karbotermik yöntem …….....10
2.2. 3. 1 Şaft Fırınında ferrobor üretimi.....10
2.2.3.1.1 Ön redüksiyonla ferrobor üretimi.....11
2.2.3.1.2 Direkt redüksiyonla ferrobor üretimi 11
2.2 3. 2 Ark fırınında ferrobor üretimi.....12
2.2.3.2.1 Ön redüksiyonla ferrobor üretimi.....12
2.2.3.2.2 Ark fırınında doğrudan ferrobor üretimi.....13
2.2.3.2.3 Ferrobor üretiminde daldırmalı tip elektrik ark fırınları ile şaft fırınlarının karşılaştırılması.....13
2.3 Ferroborun Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri.....13
2.4 Ferroborun Kullanım Alanları.....14
2.4.1. Ferroborun çelik üretiminde kullanılması.....14
2.4.2 Ferroborun sürekli manyet sanayinde kullanımı.....17
2.4.2.3 Ferroborun dökme demirde kullanımı.....18
2.4.2.4 Ferroborun amorf metallerde kullanımı…….....19
2.4.2.5 Ferrobor diğer kullanım alanları.....20
2.5 Dünya Genelinde Ferrobor Tüketimi.....20
2.6 Türkiye'de Ferrobor Üretim ve Tüketimi.....22
2.7 Ferrobor Üretimi İlgili Yapılan Çalışmalar.....23
2.8 Dünya Ferrobor Üreticileri.....29
3. MATERYAL VE METOT.....31
3.1 Kullanılan Materyaller.....31
3.1.1 Hammaddeler.....31
3.1.2 Cihazlar.....33
3.2 Deney Çalışmaları.....34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....38
4.1 Optik Mikroskob Mikro Yapı İncelemesi.....40
4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu Mikro Yapı İncelemesi(SEM+EDX).....46
4.3 X-Ray Fluorescence Analizi (XRF)….....65
4.4 X-Ray Difraktometre Analizi (XRD).....68
5. SONUÇ.....71
KAYNAKLAR.....72
ÖZGEÇMİŞ.....74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Türkiye bor minerallerinin çıkarıldığı başlıca yerler.....1
Şekil 2. Fe – B ikili denge diagramı.....3
Şekil 3. FeB ortorombik kristal yapısı ve Fe_2B ise tetragonal kristal yapısı.....5
Şekil 4. Ticari ferrobor görüntüsü.....6
Şekil 5. Borik asit, bor oksit, bor cevheri, demir oksit, demir cevheri, çelik hurdası ve redüktanların (alüminyum, silisyum ve karbon) görünümü.....7
Şekil 6.Alüminatermi potasında alüminatermik reaksiyon sistemi.....8
Şekil 7. Şaft tipi fırın.....11
Şekil 8. Ark tipi fırın.....12
Şekil 9. Tasarlanan deney düzeneği.....36
Şekil 10. Oksitlerin Al ile indirgenmesinde reaksiyon serbest enerji değişimi.....38
Şekil 11. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen numune örnekleri.....39
Şekil 12. 1. grup numunelere ait (a) 200X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli Mikro Yapı fotoğrafları.....41
Şekil 13. 2. grup numunelere ait (a) 200X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli Mikro Yapı fotoğrafları.....42
Şekil 14. 3. grup numunelere ait (a) 200X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli Mikro Yapı fotoğrafları.....43
Şekil 15. 4. grup numunelere ait (a) 200X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli Mikro Yapı fotoğrafları.....44
Şekil 16. 5. grup numunelere ait (a) 200X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli Mikro Yapı fotoğrafları.....45
Şekil 17. (a) (b) 1. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları.....47
Şekil 18. 1. grup numunelere ait 1-2 spektrumları için 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı.....47
Şekil 19. 1.grup numuneler için 1-2-3 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri.....49
Şekil 20. (a) (b) 2. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları.....50
Şekil 21. (a) (b) 2. grup numunelere ait 1-2-3-4 spektrumları için 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı.....51
Şekil 22. 2.grup numuneler için 1-2-3-4 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri.....53
Şekil 23. (a) (b) 3. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları.....54
Şekil 24. (a) (b) 3. grup numunelere ait 1-2-3 spektrumları için 2.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı.....55
Şekil 25. 3.grup numuneler için 1-2-3 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri.....56
Şekil 26. (a) (b) 4. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları.....58
Şekil 27. (a) (b) 4. grup numunelere ait 1-2-3-4 spektrumları için 2.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı.....59

Şekil 28. 3.grup numuneler için 1-2-3-4 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri.....61
Şekil 29. (a) (b) 5. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları.....62
Şekil 30. (a) (b) 5. grup numunelere ait 1-2 spektrumları için 2.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı.....63
Şekil 31. 5. grup numuneler için 1-2 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri.....64
Şekil 32. 1. grup numunelerin XRD analiz sonuçları.....68
Şekil 33. 2. grup numunelerin XRD analiz sonuçları.....69
Şekil 34. 3. grup numunelerin XRD analiz sonuçları.....69
Şekil 35. 4. grup numunelerin XRD analiz sonuçları.....70
Şekil 36. 5. grup numunelerin XRD analiz sonuçları.....70

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Türkiye bor rezervleri dağılımı ve miktarları (B_2O_3 bazında)…….....2
Tablo 2. Amerikan ASTM tarafından kabul edilen ağırlık yüzdesi olarak ferrobor sınıfları ve kompozisyonları……......6
Tablo 3. Alman DIN normu tarafından kabul edilen ağırlık yüzdesi olarak ferrobor sınıfları ve kompozisyonları.....7
Tablo 4. Aluminatermik yöntem ile ferrobor üretimi esnasında oluşabilecek reaksiyonlar ve spesifik ısılar.....9
Tablo 5. Bor ihtiva eden bazı ısıya dayanıklı çeliklerin kompozisyonları.....15
Tablo 6. Bor içeren bazı yapı çeliklerinin kimyasal kompozisyonları…….....17
Tablo 7. Değişik yıllarda ülkelerin ferrobor tüketimleri (Birim : ton).....21
Tablo 8.1998 yılı dünya ferrobor tüketimi (Birim : Ton).....22
Tablo 9. B_2O_3 kimyasal bileşimi.....31
Tablo10. SAE 1020 çeliği kimyasal bileşimi.....31
Tablo 11. Kömür içeriği……......32
Tablo 12. Al (Etial-1) kimyasal bileşimi.....32
Tablo 13. Temel olarak alınacak oranlar.....34
Tablo 14. Deneysel çalışmalarda kullanılacak Al yüzdeleri.....34
Tablo 15. Pota içerisinde meydana gelen ergitme işlemi sırasında meydana gelen ve gelebilecek olan reaksiyonlar.....39
Tablo 16. 1-2-3 bölgesel spektrumlara ait element ve atomik yüzdeler.....49
Tablo 17. 1-2-3-4-5 bölgesel spektrumlara ait element ve atomik yüzdeler.....53
Tablo 18.1-2-3 bölgesel spektrumlara ait element ve atomik yüzdeler.....57
Tablo 19. 1-2-3-4 bölgesel spektrumlara ait element ve atomik yüzdeler.....61
Tablo 20. 1-2 bölgesel spektrumlara ait element ve atomik yüzdeler.....64
Tablo 21. 1.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF analiz Sonuçları.....65
Tablo 22. 2.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF analiz sonuçları.....66
Tablo 23. 3.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF analiz sonuçları.....66
Tablo 24. 4.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF analiz sonuçları.....67
Tablo 25. 5.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF analiz sonuçları.....67

1. GİRİŞ

Bor elementi, doğada değişik oranlarda serbest olarak 250'den fazla mineralle bileşik halinde bulunmaktadır. Bu oluşan bor minerallerinden en önemlileri yapılarında (bünyelerinde) değişik oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren bor minerallerinin ülkemiz açısından en önemlileri tinkal, kolemanit ve üleksittir (Bilgiç ve Dayık 2013).

Çeliğin alaşımlandırılmasında ve özellikle iletken sac üretiminde kullanılan ferrobor üretimiyle alakalı Türkiye' de herhangi bir çalışma olmadığı görülmektedir. Mevcut bor rezervleri ve ülkemizdeki yerli kaynaklar da düşünüldüğünde ferrobor üretimiyle alakalı bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ($Na_2O.2B_2O_3.10H_2O$) ve kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)' tir. Türkiye'de bulunan önemli tinkal yataklarının Kırka' da, kolemanit yataklarının ise Emet ve Bigadiç civarında bulunduğu bilinmektedir. Bunlara ek olarak Bigadiç'te az oranda üleksit rezervi bulunmakta olup Kestelek' te ise bazen üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Türkiye'de bor cevherlerinin bulunduğu bölgeler Şekil 1' de gösterilmiş ve bu bölgelerin rezervleri ise Tablo 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Türkiye bor minerallerinin çıkarıldığı başlıca yerler
(www.eti maden.gov.tr, 2015)

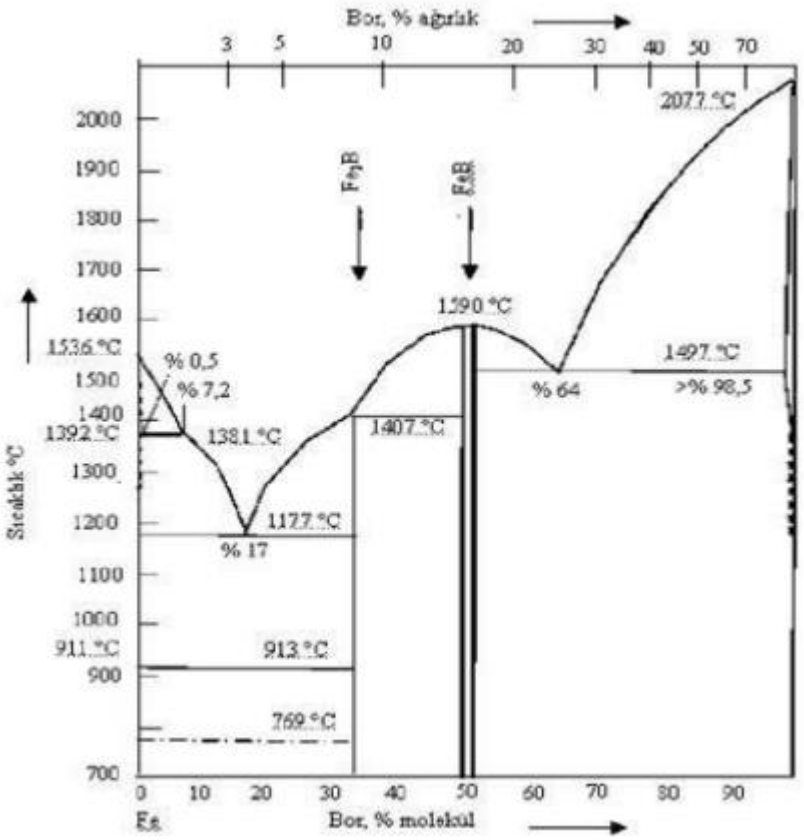
Tablo 1.Türkiye bor rezervleri dağılımı ve miktarları (B_2O_3 bazında)
(www.eti maden.gov.tr, 2015)

Cevher	Rezerv(ton)
Emet(Kolemanit)	1.818.264.009
Kırka(Tinkal)	838.152.732
Bigadiç(Kolemanit-üleksit)	636.287.478
Kestelek(Kolemanit)	3.298.124.228

Ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri halinde daha çok Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve Şili'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır (www.eti maden.gov.tr, 2015).

Borun Kullanım Alanları

Demir ve bor arasında Şekil 2' deki ikili faz diyagramına bakıldığında metaller arası iki bileşik olduğu görülmektedir. Bunlar FeB ve Fe_2B bileşikleridir. Şekil 3' te görüldüğü gibi FeB ortorombik kristal yapısına sahipken Fe_2B ise tetragonal kristal yapısına sahiptir. Fe_2B nin içeriğinde % 9, FeB nin içeriğinde ise % 16 bor bulunmaktadır. İkili denge diyagramı incelendiğinde % 9 – 16 arasında bor içeren alaşımın faz yapısı FeB ve Fe_2B kristallerinden oluştuğu, % 16 dan fazla bor içeren alaşımın ise FeB ve B kristallerinden oluştuğu görülmektedir (Çalık 2004).



Şekil 2. Fe – B ikili denge diyagramı (Önen 2012)

Ferrobor yaygın olarak metalik cam, magnetik malzeme üretiminde ve çeliğin alaşımlandırılmasında kullanılan bir alaşımdır. 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 (Yücel 1992).

% 3 B, % 5 Si içeren demir esaslı alaşımların, amorf metal(metalik cam) olarak saç haline getirilerek trafolarda kullanılabilmesi, kullanılan silisyum saçlarına göre 1/3 oranında kayıpları azaltmıştır (Yücel 1992).

Ağırlıkça %10-20 arasında bor ihtiva eden demir-bor alaşımlarına ferrobor denilmektedir. Katı haldeki demir içinde bor sıcaklığa bağlı olarak %0.1-0.15 arasında çözünmektedir. ferrobor genel olarak çelik ve manyetik malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Çalık 2004).

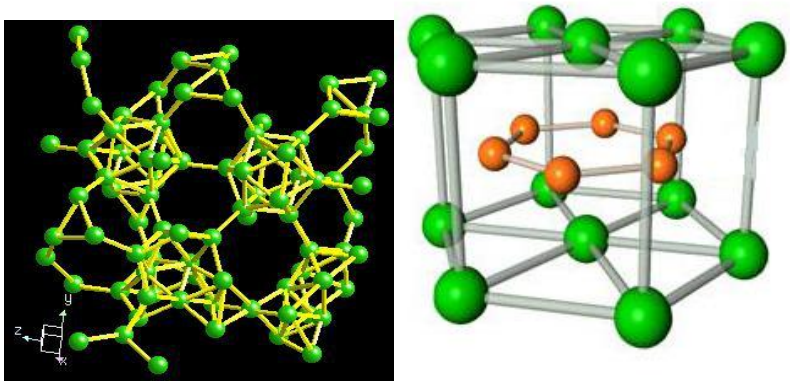
Karbon ve alaşımlı çeliklerin sertliğini arttırmada ferrobor kullanımı 1930' lu yıllara dayanmaktadır. Çeliğe %0,003-0,004 miktarlarında yapılan bor eklemesi ile tane boyutunu küçültmeye ihtiyaç duyulmaksızın sertlik arttırılabilmiştir. Yapılan az miktardaki bor ilavesi, yüksek oranlarda ki manganez, nikel, krom gibi metalleri eklenmesi ile elde edilen alaşımlar ile aynı sertlikte malzeme üretilmesini sağlamıştır. Özellikle A.B.D. de ıslah çeliklerinde, pahalı ve az bulunan nikel ve molibdenin yerine büyük miktarlarda kullanılması ferroborun ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Blumenthal 1952).

Ferrobordan üretilen yapraklardan yapılan ve elektrik nakil sisteminde kullanılan göbeklerde (çekirdeklerde) enerji kayıpları daha azdır. Ferrobordan yapılan çekirdekte kaybolan enerji, klasik silisyumlu çelik nüveli transformatörden kaybolan enerjinin dörtte biri ile üçte biri arasında olmaktadır (Yücel 1992).

2. KURUMSAL TEMELLER

2.1 Ferroborun Genel Özellikleri

Ağırlıkça %10-20 arasında bor ihtiva eden demir-bor alaşımlarına ferrobor denilmektedir. Katı halde bulunan demir içinde bor sıcaklığa bağlı olarak %0,1-0.15 arasında çözünebildiği görülmektedir. Demir-bor arasında iki bileşik oluşmakta bunlar ise FeB ve Fe_2B bileşikleridir. FeB ortorombik kristal yapısına sahipken Fe_2B ise Şekil 3' te görüldüğü üzere tetragonal kristal yapısına sahiptir. Fe_2B' nin bileşiminde %9, FeB' nin bileşiminde ise %16 bor bulunmaktadır. % 9 – 16 arasında bor içeren alaşımın faz yapısı FeB ve Fe_2B kristallerinden oluştuğu, % 16 dan fazla bor içeren alaşımın ise FeB ve B kristallerinden oluştuğu görülmektedir (Çalık 2004).



Şekil 3. FeB ortorombik kristal yapısı ve Fe_2B ise tetragonal kristal yapısı

Ticari ferrobor çoğunlukla alüminotermik veya karbotermik metotla üretilmektedir. Bu metotlarla üretilen ticari ferrobor Şekil 4' te görüldüğü gibi parlak gümüş rengine sahip olup kırılgan bir yapıya sahiptir. Ticari ferrobor uzun süre rutubetli havada kalırsa parlak gümüş rengi kaybolarak yüzeyin rengi, kırmızı veya pas rengi lekeler ihtiva eden mat griye dönüşmektedir. Ferrobor genel olarak çelik ve manyetik malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Elyutin et al 1957).



Şekil 4. Ticari ferrobor görüntüsü

Amerikan ASTM' de 6 sınıf ferrobor, Alman DIN normunda ise 4 sınıf ferrobor tanımlanmakta olup Tablo 2-3' te gösterilmiştir.

Tablo 2: Amerikan ASTM tarafından kabul edilen ağırlık yüzdesi olarak ferrobor sınıfları ve kompozisyonları (Angın 2003)

SINIF	**%Bor (min.-max.)**	**%Karbon (maximum)**	**% Silisyum (maximum)**	**% Alümin. (maximum)**
A1	12.0-14.0	1.5	4.0	0.5
A2	12.0-14.0	1.5	4.0	8.0
B1	17.5-19.0	1.5	4.0	0.5
B2	17.5-19.0	1.5	4.0	8.0
C1	19.0-24.0	1.5	4.0	0.5
C2	19.0-24.0	1.5	4.0	8.0

Tablo 3: Alman DIN normu tarafından kabul edilen ağırlık yüzdesi olarak ferrobor sınıfları ve kompozisyonları (Angın 2003)

Sembol	**%Bor**	**%Al max.**	**Si**	**C**	**Mn**	**P**	**S**	**Co**
FeB_{16}	15-18	4.0	1.0	0.10	0.50	0.005	0.001	0.005
FeB_{18}	18-20	2.0	2.0	0.10	0.50	0.005	0.001	0.005
$FeB_{12}C$	10-14	0.5	4.0	2.0	0.50	0.005	0.1	0.005
$FeB_{17}C$	14-19	0.5	4.0	2.0	0.50	0.005	0.1	0.005

2.2 Ferrobor Üretim Yöntemleri

Ferrobor genel olarak Aluminatermik, Silikotermik ve Karbotermik yöntemler ile üretilmektedir. Saydığımız yöntemlerin tümünde sisteme giren hammaddeler; *borik asit, bor oksit, bor cevheri, demir oksit, demir cevheri, çelik hurdası* ve *redüktanlardan (alüminyum, silisyum ve karbon*) oluşmaktadır (Yücel 1992).



Şekil 5. Borik asit, bor oksit, bor cevheri, demir oksit, demir cevheri, çelik hurdası ve redüktanların (alüminyum, silisyum ve karbon) görünümü

2.2.1 Aluminatermik veya ekzotermik yöntem

Şekil 6 da görüldüğü gibi bor oksit, demir cevheri ve alüminyum tozu karışımının aluminatermi potası içerisinde $KClO_3$ ile ateşlenerek reaksiyona sokulması ile ferrobor elde edilen yöntemdir. Oluşan reaksiyonların termodinamik özellikleri ve açığa çıkan ısı üretimin başarısını belirlemektedir.

600 kcal/kg ve daha düşük değerlerde ki açığa çıkan spesifik ısı aluminatermik reaksiyonun oluşmasını engellemekte ayrıca metalin curuftan ayrılmasını zorlaştırmaktadır. 1000 kcal/kg ve daha yüksek şarj değerlerinde ki spesifik ısıları oluşturan reaksiyonlar patlamalara sebep olmakta ve bu yüzden metal parçacıklarının curuf içerisinde kaybolmasına sebep olmasından dolayı tercih edilmemektedir. Oluşan reaksiyonlarda açığa çıkan sipesifik ısılar Tablo 4' te verilmiştir. Çeliğe mekanik özelliklerini geliştirmek üzere ilave edilen ferrobor geniş çapta aluminatermik yöntem ile üretilmektedir (Gupta and Mehra 1980, Yücel vd. 1992).



Şekil 6. Alüminatermi potasında alüminatermik reaksiyon sistemi

Tablo 4. Aluminatermik yöntem ile ferrobor üretimi esnasında oluşabilecek reaksiyonlar ve spesifik ısılar (Barin 1989)

Reaksiyon	**Spesifik Isı Kcal/kg şarj**
$B_2O_3 + 2Al \rightarrow 2B + Al_2O_3$	777
$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow 2Fe + Al_2O_3$	930
$KClO_3 + 2Al \rightarrow KCL + Al_2O_3$	2330

Aluminatermik reaksiyon ile üretilen forrobordaki bor konsantrasyonu %16–20 arasında, alüminyum konsantrasyonu ise %1.5-6 arasında olmaktadır. Ayrıca alaşımdaki bor kazanım verimi de %40 – 50 arasında olmaktadır. Aluminatermik reaksiyonlarda redüktant olarak alüminyum – magnezyum alaşımının kullanılması spesifik ısının artmasına sebep olmakta ve bu sayede metalin curuftan kolay ayrılması sağlanmıştır. Aluminatermik yöntemle üretilen ferrobor max. 1 ton ağırlığında bloklar halinde olmaktadır. Aluminatermik reaksiyon bir ark fırını içerisinde de gerçekleştirilebilmektedir. Ancak reaksiyonun gerçekleşme süresi elektrik enerjisi kullanıldığı için uzamıştır. Bu şekilde metal curuf ayrımı iyi bir şekilde sağlanmış ve curuftaki bor kaybını azaltmıştır. Bu yöntem ile üretilmiş Ferrobor da bor konsantrasyonu %20 ye kadar artarken, alüminyum konsantrasyonu %2 - 4; metalde bor kazanım verimi ise %50 - 68 oranında olmaktadır. Ayrıca aluminatermi potası yerine ark fırınının kullanılması ile aluminyumda % 36 – 40 oranında tasarruf sağlanmıştır (Yücel 1992).

2.2.2 Silikotermik yöntem

Silisyum ve silisyumlu malzemelerin redüktant olarak kullanılması ile ferrobor üretilen yönteme silikotermik yöntem denir. Alaşımdaki max. bor konsantrasyonunu %10 - 25 arasında olduğu, silisyumun max. konsantrasyonun ise %0.5 - 20 olduğu görülmüştür (Gupta and Mehra 1980)

2.2.3 Karbotermik yöntem

Ferrobor üretim yöntemlerinden olan Aluminatermik ve Silikotermik yöntemler ile üretilen ferrobor içerisine oldukça fazla miktarda empürite olması, redüktantların ferroborun kullanımını engelleyecek seviyeye gelmesinden dolayı, ferrobor üretiminde alüminyum ve silisyumun yerine karbonun redüktant olarak kullanıldığı yönteme karbotermik yöntem denilmektedir (Werner 1990).

- Karbotermik Yöntem ana hatlarıyla 2 ye ayrılmaktadır.

Şaft Fırınında Ferrobor Üretimi

Ark Fırınında Ferrobor Üretimi

2.2.3.1 Şaft fırınında karbotermik ferrobor üretimi

Ferrobor üretiminde ergitme işlemleri için şaft tipi fırının kullanıldığı, hammadde olarak ise bor oksit veya borik asit, sinterlenmiş demir cevheri ve kok kömürünün kullanıldığı, bu ürünlerin fırına şarjı ile metalik cam üretimine uygun ferroborun üretildiği çalışmadır (Hamada 1983, 1985). Şaft tipi fırın görseli Şekil 7’ de gösterilmiştir.



Şekil 7. Şaft tipi fırın

2.2.3.1.1 Ön redüksiyonla ferrobor üretimi

Bu üretim yönteminde şaft fırınının demir cevherinin ön redüksiyonunda kullanılan bir akışkan yatak ile kombine edilmesi ile ferrobor üretilmesidir. Bor oksitin alt tüyerlerden, ön redüklenmiş demir cevherinin ise üst tüyerlerden beslendiği, şaft fırını haznesine sıcak hava ile üflenirken kokun fırına üsten beslenmesi şeklinde olmak üzere ferroborun üretildiği çalışmadır. Bu çalışmanın olumsuz tarafı üretilen ferroborda yüksek karbon içeriğinin ortaya çıkmasıdır (Hamada 1985).

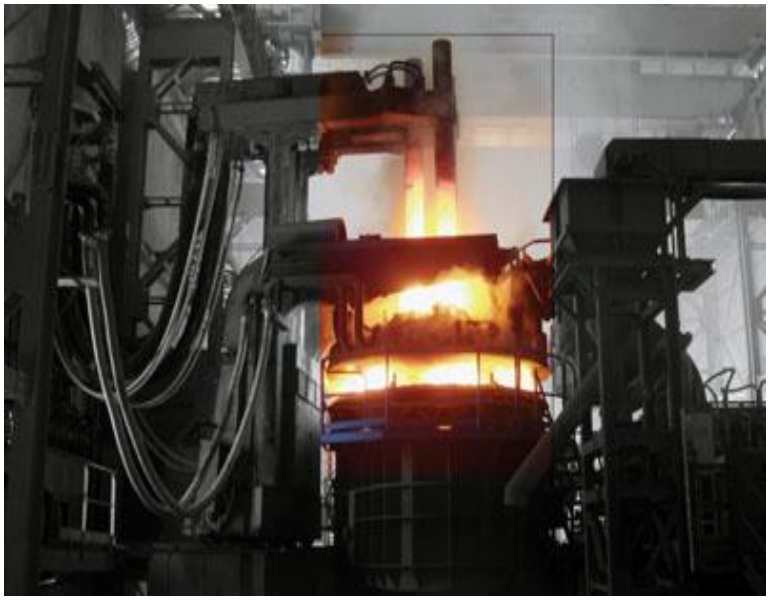
2.2.3.1.2 Direkt redüksiyonla ferrobor üretimi

Demir cevherinin sinterlenerek kok ile birlikte şaft fırınının tepesinden beslenmesi ile ferrobor üretimi için yapılan yöntemdir. Bu yöntemde bor hammaddesi olarakta borik asit kullanılmış ve yine tüyerlerden beslenmiştir. Direk redüksiyon yöntemi ön redüksiyon yöntemine göre yüksek bor kazanma oranına sahip olsa da, ön redüksiyonda ergitme hızı oldukça yüksek çıkmaktadır (Yücel 1992).

2.2.3.2 Ark fırınında ferrobor üretimi

Borik asit, karbon ve demirin, Şekil 8 de görülen elektrik ark fırınında ergitilerek ferrobor üretildiği çalışmadır. Elektrik ark fırını ferrobor üretiminde tarihte ilk defa 1893 yılında kullanılmış Şekil 8' de ark fırınına ait görsel bulunmaktadır.

Ferrobor üretimi doğrudan ark fırınında yapılabileceği gibi ark fırınının çeşitli ön redüksiyon cihazları ile birlikte kullanımı ile de yapılabilmektedir (Elyutin and Pavlov 1965, Ullmanns 1974).



Şekil 8. Ark tipi fırın

2.2.3.2.1 Ön redüksiyonla ferrobor üretimi

Bu yöntemde borik asit, demir veya demir oksit, kömür ve şeker değişik oranlarda karıştırılarak döner fırında, 300 C^o de gerçekleştirilen ön ısıtma ön redüksiyon işlemleri sonrasında karışımın sinterlenmesi ile ark fırınında ergitme işlemlerine tabi tutulmuştur. Sonrasında bu sinter ürünleri döner fırında 1000 C^o ve 1300 C^o de olmak üzere iki kademede redüklenerek ark fırınına aktarılması ile ferrobor üretilmesidir (Hildebrand 1984).

2.2.3.2.2 Ark fırınında doğrudan ferrobor üretimi

Karbon astarlı elektrik ark fırınının ferrobor üretiminde kullanılması ile alaşıma borun yüksek oranlarda kazandırıldığı yöntemdir. Ark fırınında üretimin olumsuz yönü enerji tüketiminin çok yüksek olmasıdır. Bu durum sistemi ekonomik olmaktan çıkarmakta ve maliyeti arttırmaktadır (Ullmanns 1974, Yücel 1992).

2.2.3.2.3 Ferrobor üretiminde daldırmalı tip elektrik ark fırınları ile şaft fırınlarının karşılaştırılması

Ferrobor üretiminde sağladığı avantajlardan dolayı 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. Şaft fırınında işlenemeyen daha küçük tane boyutundaki cevher veya konsantreler ark fırınlarında işlenebilmektedir. Ark fırınlarında şaft fırınlarına göre daha kolay operasyon şartları ve üretimi sağlanmakta amaçlanan metalin daha yüksek oranlarda kazanılması da bir diğer avantajıdır. Bu tip fırınların yüksekliği arttırılarak ark zonunda oluşan ısı ve redükleyici gazların şarj sütununda kullanılması sağlanmaktadır (Bogdandy and Engell 1967, Dyason and See 1981).

2.3 Ferroborun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fe_2B, FeB gibi ferrobor alaşımları Fe ve B gibi metaller arası bileşiklerden oluşmakta ve yoğunluğu alaşım konsantrasyonuna göre değişmektedir.
Örneğin % 16.4 B, % 0.2 Al içeren alaşımın yoğunluğu 6.45 g/cm^3 iken, % 20.2 B, % 2.7 Al içeren alaşımın yoğunluğu ise 6.02 g/cm^3 tür.

Fe_2B nin HCl ile çözünmesi sonucunda hidrojen çıkışı ve boran oluşumu gözlemlenmektedir.

FeB ise HCl ve H_2SO_4 tarafından oda ve kaynama sıcaklıklarında çözünmez ancak FeB, HNO_3 tarafından tamamen çözünmektedir.

FeB ve Fe_2B azota karşı 350 C^oye kadar dayanmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda azot müdahalesi bornitrür oluşturmasına sebep olmaktadır.

% 0.04– 42 arasında B içeren alaşımlar atmosforik şartlarda ve yüksek sıcaklıkta (800–1000 C^o) oksitlenmeye karşı dirençlidirler. Bor konsantrasyonunun % 0.32 den fazla olduğu alaşımlarda koruyucu etkisi bulunan $Fe(BO_2)_2$ fazı oluşmaktadır (Ullmanns 1974).

2.4 Ferrobor kullanım alanları

% 10 – 20 arasında B içeren ferrobor alaşımları amorf metal, magnetik malzeme üretiminde 100.000 ton/yıl, çelik üretiminde de 8000 ton/yıl miktarlarında tüketilmektedir (Bebbington 1992).

2.4.1 Ferroborun çelik üretiminde kullanılması

Çelik sanayisi ferroborun en çok kullanıldığı iki alandan biri olmasıyla öne çıkmaktadır. Çok düşük oranlarda çeliğe ilave edilen bor, hem adi karbon çelikleri ve hem de alaşımlı çeliklerin sertleşebilirlik özelliklerini arttırmaktadır. Çeliğin içine 5-15 ppm (max. 30 ppm) oranındaki bor ilavesi sertliği artırmaktadır. Karbon, manganez, krom, molibdenyum v.b. sertleştirici elementlere göre bor sertleşme derecesini daha da arttırmaktadır. Çelik içerisine ilave edilen çok az miktardaki bor çeliğin sertliğini arttırması yanında diğer sertleştirici elementlerin etki etme seviyelerini de arttırmaktadır.

Bu nedenle de çelikte kullanılan pahalı alaşım elementleri maliyetinde büyük tasarruf sağlanmaktadır. Bunun yanında alaşımlı çeliklere%0.001-0.003 seviyesinde eklenen borbu çeliklerin yapısında gerek duyulan Ni, Cr, ve Mo miktarlarını da düşürmektedir (Donald 1998, The Economics of boron 1999).

Karbon ve alaşımlı çeliklerin sertliğini arttırmak amacıyla ferroborun 1930' lu yıllardan beri kullanıldığı bilinmektedir. Çeliğe % 0,003 - 0,004 miktarlarında bor ilavesi ile tane boyutunu küçültmeye ihtiyaç duyulmaksızın sertlik arttırılabilmektedir. 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 (Houdremont 1956). Bu çeliklere örnekler Tablo 5' te verilmiştir.

Tablo 5. Bor ihtiva eden bazı ısıya dayanıklı çeliklerin kompozisyonları(Angın 2003).

Çeliğin AISI Sınıfı	%Cr	%Mo	%Ni	%Fe	%Ti	%Co	%W	%Al	%B
662	13.50	2.75	26.0	Bal.	1.75	-	-	0.07	0.005
664	14.90	4.05	44.3	Bal.	3.00	-	3.65	1.05	0.010
665	13.50	1.75	26.0	Bal.	3.00	-	-	0.15	0.020
681	12.50	6.00	42.5	Bal.	2.50	-	-	0.20	0.015
682	12.50	5.70	42.5	Bal.	2.85	-	-	0.20	0.015
683	19.00	10.00	Bal.	1.80	3.10	11.00	0.60	1.50	0.005
684	17.50	4.25	Bal.	0.50	3.00	18.45	-	3.00	0.005
685	19.75	4.45	Bal.	0.75	3.00	13.00	-	1.40	0.005
687	15.00	5.25	Bal.	0.50	3.50	18.50	-	4.25	0.030
689	20.00	10.00	Bal.	-	2.60	10.00	-	1.00	0.005

Çeliğin sertliği borun oluşturduğu karbür ile artmaktadır. Karbür yapıcı elementlerle karşılaştırıldığında, çok az miktarda bor kullanımı aynı derecede sertlik kazandırmaya yetmektedir. Borun %0.0005 oranındaki ilavesiyle östenitik çeliklerin yüksek sıcaklık mukavemeti ve sürünme mukavemeti artar. Yüksek hız çeliklerinin kesme performansını arttırmak için bor kullanılmaktadır.

Yüksek hız çeliklerine, kullanımda sertleşebilen ve ısıl işlem yapılabilen çeliklere bor ilavesi özellikle sürünme mukavetini arttırmaktadır (Werner 1990).

18-8 Krom Nikelli östenitik paslanmaz çeliklere borun ilave edilmesi sonucunda çökelme sertleşmesi oluşmakta ve çeliğin elastik limiti artmaktadır fakat oksitlenme direncide düşmektedir. Borun AISI 321 ostenitik paslanmaz çeliğine %0.01'e kadar eklenmesi bu çeliğin 650 °C sıcaklıkta ve 157 N/mm^2 ' deki servis ömrünü 8000 saatten 18000 saate uzatmıştır. Krom-Nikelli ASTM 316 paslanmaz çeliklerinde %0.004-0.009 oranlarında bor ilavesi şekil verme aralığında (950-1250 °C) çeliğin şekil alma kabiliyetini önemli derecede arttırmıştır. Östenitik ısıya dayanıklı paslanmaz çeliklerde ve ferritik çeliklerde çok düşük oranlarda (%0.002-0.005) kullanılan bor; titanyum, molibdenyum ve niobium ile birlikte çeliğin sürünme özelliklerini iyileştirmiştir. Yapısında %2,5' a kadar bor bulunan çelikler, nükleer reaktörlerde kontrol çubuğu olarak kullanılır. Haddelenmiş veya tavlanmış haldeki çeliklerde bor ilavesi diğer karbür yapıcılar gibi çeliğin sertliğini arttırmaz. Bu nedenle, borla sertleştirilmiş çelikleri işlemek daha kolaydır. Borlu çelikler ilave bir ısıl işlem gerektirmezler. Bu da borun diğer bir avantajıdır (Angın 2003).

Takım çeliklerinde bor ilavesi sertleşme kabiliyetini arttırmaktadır. Paslanmaz çeliğe bor ilavesi kaynak kabiliyetini, sürünme direncini, taneler arası korozyon direncini arttırmakta sıcak yırtılmaları önlemekte olduğu görülmektedir. Krom, krom – nikel ve krom – nikel – kobalt gibi yüksek sıcaklık çeliklerine çok az miktardaki bor ilavesi bu malzemelerin kullanım ömrünü uzatmaktadır (Ullmanns 1974, Bebbington 1992).

Ferroborun çeliğe ilavesi ile hem bor verimi hem de istenilen bileşimin tutturulması açısından çok iyi sonuç alınmıştır. Ancak borun oksijen ve azota karşı yüksek ilgisi duymasından dolayı çelik ferrobor ilavesi öncesi deokside edilmeli ve azot sistemden uzaklaştırılmalıdır (Ullmanns 1974, Bebbington 1992). Tablo 6’ da bor içeren bazı çeliklerin kimyasal kompozisyonları verilmiştir.

Tablo 6. Bor içeren bazı yapı çeliklerinin kimyasal kompozisyonları (Angın 2003)

Çeliğin AISI Derecesi	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%B
46B	0.10-0.15	0.20-0.35	0.45-0.55	0.04	0.04	-	0.2-0.3	1.65-2.00	0.0005
50B	0.38-0.43	0.15-0.30	0.65-1.00	0.035	0.04	0.3-0.7	-	--	0.0005
51B	0.55-0.65	0.15-0.30	0.65-1.10	0.035	0.04	0.6-1.0	-	-	0.0005
81B	0.42-0.49	0.15-0.30	0.7-1.0	0.035	0.04	0.3-0.6	0.08-0.15	0.2-0.4	0.0005
86B	0.27-0.33	0.15-0.30	0.60-0.95	0.035	0.04	0.35-0.65	0.15-0.25	0.35-0.75	0.0005
94B	0.38-0.43	0.20-0.35	0.75-1.00	0.040	0.04	0.30-0.50	0.08-0.15	0.30-0.60	0.0005

2.4.2 Ferroborun sürekli manyet sanayinde kullanımı

Ferroborun en fazla kullanıldığı alanlardan bir diğeri "Nd-Fe-B esaslı sürekli manyetik malzeme" üretimidir. 1975 yılında bor içeren alaşımlardaki üstün magnetik özelliklerinin keşfi, bu alaşımların elektrik sektöründe büyük bir kullanım alanı bulmasına sebep olmuştur. Özellikle % 3 B, % 5 Si içeren demir esaslı alaşımların, amorf metal (metalik cam) olarak saç haline getirilerek trafolarda kullanılabilmesi, kullanılan silisyum saçlarına göre 1/3 oranında kayıpları azaltmıştır. *Metglas 2605* olarak adlandırılan sacların başlangıç malzemesi ferrobordur ve içeriği % 3.0 B, % 3.7 Si, % 0.026 Cu, % 0.077 Ni, % 0.066 Cr, % 0.035 Al, % 0.042 Co şeklindedir. Ferrobor, silisyum ve demir karışımının ergitilmesi ile elde edilen alaşım hızlı katılaştırılarak amorf metal bantlar üretilmektedir. Günümüzde bu bantlar A.B.D. de dağıtım trafolarındaki silisli sacların yerine kullanılarak senede 200 milyon $ tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır. Osaka, Takaoka, GEC ve Hydro-Quebec gibi büyük trafo üreticileri metalik cam kullanarak üretim yapmışlar ve olumlu sonuçlar almışlardır. Bunun sonucu olarak da Allied-Singnal Co. Trafo üretiminde kullanılmak üzere 60.000 ton/yıl amorf metal kapasiteli bir tesis kurmuştur (Schneider and Pumpe 1979, Froes and Carbonara 1988).

General Motors firması tarafından ABD Indiana'daki fabrikada üretilen Nd-Fe-B manyetleri, %29 neodmiyum,%70 demir ve %1 bor ihtiva etmektedir. Bu tesis yılda bir milyon manyet üretim kapasitesine sahiptir. Dünya Nd-Fe-B Sürekli Manyet üretiminin %90'ının Japonya ve Çin'de yapıldığı tahmin edilmektedir. Japonya'da manyet üretiminde kullanılan ferrobor miktarı ise 1993 yılında 160 ton iken bu oran 1998 yılında 420 tona yükselmiştir. Nd-Fe-B Sürekli Manyetler üretiminde kullanılan ferrobor düşük karbonlu olup, bunun kimyasal kompozisyonu ise %20 B, %0.02 C, %1 Si, ve %3 Al şeklindedir (Angın 2003).

Bor, 1982 yılından beri tanınmakta olan Fe-R-B esaslı sürekli mıknatısların önemli bir bileşenidir. Bu tip mıknatıslardan olan $Fe_{14}Nd_2B$ üretiminde ferrobor kullanılmaktadır (Guangfei and Chen 1988, Werner 1990).

2.4.2.3 Ferroborun dökme demirde kullanımı

Dökme demirlere bor, ferrobor ilavesi şeklinde verilmektedir. Dökme demir içerisinde bulunan borun bazı avantajları vardır. İlk olarak bor dökme demirde karbür yapıcı özelliğe sahiptir. Katılaşma esnasında teşekkül eden bu karbürler dökme demirin beyaz renkli olmasını sağlamaktadır. %0.03 oranında ki bor ilavesi dökme demirin aşınma direncini iyileştirir. Yüzde bire kadar çıkan oranlarda bor ilavesi, sinterlenmiş dökme demirin sinterlenme sıcaklığını büyük ölçüde düşürür. %0.02-0.1 arasında borun dökme demirlere ilavesi, yapıdaki grafitleşmeyi önler, yüzey sertliğini ve su alma derinliğini de ilerletir. % 0.001 oranında bor ilavesi temper dökme demirin tavlanmasını hızlandırır (The Economics of Boron 1999).

2.4.2.4 Ferroborun amorf metallerde kullanımı

Ferroborun kullanım alanlarından bir başkası da amorf metaller üretimidir. Camsı metaller veya metalik camlar adıyla da bilinen amorf metaller, kristalin olmayan bir yapıya sahiptirler. Amorf metal, ergimiş haldeki metalin hızlı soğutulmasıyla elde edilmekte ve ergimiş metal saniyede 1 Milyon Kelvin Derece hızla soğutulmaktadır. Bu kadar yüksek hızda soğuyan metal katılaşırken kristalleşmeye zaman bulamaz ve metal amorf halde katılaşır. Ergimiş metali dönmekte olan soğuk bir bakır silindir üzerine sürekli akıtmak suretiyle bu hızlı soğuma elde edilmiş olur. Katılaşma sonunda oluşan amorf metal, 5 cm'ye kadar geniş ve 0.13 mm'ye kadar kalın olan bir şerit şeklinde olabilmektedir. Amorf metaller ilk olarak 1970'li yılların sonlarında bazı amaçlar için kullanılmıştır. Elektrik transformatörlerinde amorf metal kullanılması yönünde amorf metalleri geliştirmek için 1980'li yıllarda araştırma ve geliştirme çalışmalarına başlanılmıştır. Bu amaç için geliştirilen amorf alaşımların kimyasal kompozisyonları çok değişik olmasına rağmen temel olarak bor ihtiva eden demirdir. Bu alaşımların kimyasal formülleri aşağıda yazıldığı gibidir.

$Fe_{80}B_{20}$

$Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_{6}$

$Fe_{82-x}Be_{x}B_{18}$

Borun atomik yüzdesi bu alaşımların kompozisyonunda %1-12 arasındadır. Bor, alaşıma ferrobor ilave edilerek verilmektedir. Demir bor alaşımları geliştirildiği zaman, transformatör laminasyonlarında standart malzeme olabilecekleri söylenmektedir. Eğer bu beklenti gerçekleşmiş olursa dünya ferrobor tüketiminin büyük miktarlara ulaşacağı belirtilmektedir (The Economics of Boron 1993, 1995, 1999).

2.4.2.5 Ferrobor diğer kullanım alanları

Ağırlıkça %96 sını demir, nikel veya kobaltın oluşturduğu bor alaşımları vakum sistemlerinde lehim ve sızdırmazlık malzemesi olarak kullanılmaktadır (Ullmanns 1974).

Borun demir dışı metallerle yapmış olduğu alaşımlarda geniş kullanım alanları bulmaktadır. Manganez, krom, nikel ve kobalt bazlı kristal yapılı bor alaşımlarının, döküm yöntemi kullanılarak kap ve saat kayışı gibi ürünler 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 lastiği için metalik kayış üretiminde kullanılmaktadır (Susman and Evans 1986).

2.5 Dünya genelinde ferrobor tüketimi

Türkiye'nin ferrobor tüketimi başlıca tüketici şirketlerlerde yapılan incelemeler neticesinde yaklaşık değerler şeklinde bulunmuştur. ABD, Japonya, Avrupa Birliği üyesi 12 ülke, Kanada ve Çin' in ferrobor tüketimleri ise doğruluk derecesi yüksek olan varsayımlara dayanarak analitik metotlarla hesaplanmıştır. Bulunan istatistikî bilgiler ve analitik tahmin yoluyla bulunan rakamlar Tablo 7' de gösterilmiştir (Angın 2003).

Tablo 7. Değişik yıllarda ülkelerin ferro bor tüketimleri (Birim : ton) (Angın 2003)

	1985	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Japonya İ	-	-	1380	1450	1450	1550	-	-	-	-	-	-	-
AB 12 İ	1000	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ABD İ	-	-	-	-	-	-	-	1130	-	-	1746	1715	1432
Çin t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1412	-	-
Kanada İ	-	-	-	-	-	-	-	48	56	66	104	121	-
Türkiye t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
Diğer Ülkeler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1680	1716	1902

İ: istatistik, t: analitik tahmin, - : bigi bulunamadı

Bu tablo herhangi bir yılda dünyanın tamamının ferrobor tüketimini vermemekte olup sadece ülkeler bazında tüketimi vermektedir. Ancak bunlar farklı yıllara ait verilerdir. Bazı yorumlar yaparak 1998 yılı dünya ferrobor tüketimini hesaplamak mümkündür. Tablo 8 ise AB 12, Japonya ve Türkiye dışındaki ülkelerin (ABD, Kanada, Çin, diğer ülkeler) 1998 yılı tüketimlerini vermektedir (Angın 2003).

Avrupa Birliği üyesi 12 Ülkenin ve Japonya'nın daha önceki yıllarda yaptıkları tüketimler 1998 yılı ile karşılaştırmak suretiyle, 1998 yılı tüketimleri hesap edilmiş ve Tablo 8 de gösterilmiştir. Japonya' nın tüketimi 1990-1993 yıllarında ortalama %4/yıl oranında artmıştır ve bu artışın 1998 yılına kadar devam ettiği varsayılırsa, 1998 yılı ferrobor tüketimi 1885 ton olmaktadır. AB üyesi 12 ülkenin tüketimi benzer metotla hesaplanabilmektedir. Bu 12 ülkenin ferrobor tüketimi 1985-1989 yıllarında ortalama %4,7/yıl oranında artış göstermiştir. Söz konusu artışın 1998 yılına kadar devam ettiği varsayılırsa, bu ülkelerin tüketiminin 1998 yılında 1711 ton olduğu kabul edilebilir. Ülkelerin 1998 yılı tüketim rakamları toplandığında, 1998 yılı dünya ferrobor tüketiminin 8.563 ton olduğu görülmektedir (Angın 2003).

Tablo 8. 1998 yılı dünya ferrobor tüketimi (Birim : Ton)

Japonya	1.885	(p)
Avrupa Birliği 12	1.711	(p)
ABD	1.746	(i)
Çin H.C.	1.412	(t)
Kanada	104	(i)
Türkiye	25	(t)
Diğer Ülkeler	1.680	(t)
Dünya Toplamı	**8.563**	**ton**

(p): projeksiyon, (t): analitik tahmin, (i): istatistik

2.6 Türkiye'de ferrobor üretim ve tüketimi

Türkiye'nin ferrobor tüketimini öğrenmek için Devlet İstatistik Enstitüsü kayıtlarında yapılan incelemede ferrobor adında bir ürün kaydının bulunmadığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak da Türkiye'nin bu ürünle ilgili ithalat rakamlarının tutulmadığı anlaşılmaktadır. Ferroborun muhtemelen diğer ferro alaşımlar başlığı altında geçtiği tahmin edilmektedir. Ferrobor ithalatı yapıp yurt içinde satan şirketler araştırılmış ancak sağlıklı sonuç ya da şirkete ulaşılamamıştır (Angın 2003).

Türkiye'de bulunan ferrobor kullanımının olabileceği düşünülen çelik üreticisi firmalarda yapılan incelemelerde; Asil Çelik isimli işletmenin min. %18 tenörlü ferrobor kullandığı ve bu miktarın 1999 yılında 4148 kg/yıl, 2001 yılında 5000 kg/yıl olduğu öğrenilmiştir. Firma, çeliğin su alma derinliğini artırmak amacıyla ferroboru mikro alaşımlı çeliklere ilave ettiklerini, bor oranının %0,0020-0,0030 arasında olduğunu, bu oranın üstüne çıkması halinde borun alaşım elemanı görevi yapmadığını söylemiştir. Bu çeliklerin makina ve otomotiv sanayinde, örneğin şanzıman dişlileri ve civata imalatında kullanıldığını belirtmişlerdir. Asil Çelik firması adi karbon çeliğinde ferrobor kullanmadıklarını belirtmiştir (Angın 2003).

Çemtaş firması ise %18 tenörlü ferrobor kullandığını, 2001 de 100 kilo ve 2002'de 250 kilo ferrobor satın aldıklarını ve yıllık tüketimlerinin yaklaşık 250 kilo olduğunu belirtmişlerdir. Bu firma 30 tonluk sıvı çelik potasına 4 kg ferrobor ilave ettiğini söylemiştir. Bu bilgiye dayanarak hesap yapılırsa, çelik içinde %0.0024 Bor bulunmaktadır. Çemtaş firması, düşük oranda bor içeren bu çeliklerin düşük alaşımlı (C, Mn, Mo, V, Cr, B) çelikler olduğunu, bunların haddelenerek yuvarlak ürüne dönüştürüldüğünü makine ve otomotiv sanayinde kullanıldığını söylemiştir. Örnek olarak, forklift ve greyder bıçakları imalatında bu çeliğin kullanıldığını ifade etmişlerdir (Angın 2003).

Ege Çelik firması ile yapılan görüşmede; yılda 10 - 15 ton %17-18 tenörlü ferrobor kullandıkları öğrenilmiştir. Kroman Çelik firması ise ferro bor kullanmadıklarını belirtmiştir. İzmir Demir Çelik Sanayii A.Ş. firması, işletmelerinde sadece "inşaat beton çelik çubuğu" üretimi yapıldığından dolayı ferrobor kullanmadıklarını belirtmiştir. Çebitaş ve Ekinciler Demir Çelik firmaları da ferrobor kullanmadıklarını bildirmişlerdir. Çelik üreticisi firmalardan alınan bu bilgilere göre, 3 çelik firması (Asil Çelik, Çemtaş ve Ege Çelik) ferrobor kullanmakta olup, bunların yıllık tüketimi 15,5 - 20,5 ton arasındadır. Diğer sanayi dallarında yapılan tüketim de dikkate alınırsa, Türkiye'nin ferrobor tüketiminin 25 ton/yıl dolayında olduğunu tahmin etmek mümkün olacaktır (Angın 2003).

2.7 Ferrobor üretimi ilgili yapılan çalışmalar

Ferrobor ilk olarak 1893 yılında karbon astarlı, tek fazlı bir elektrik ark fırınında Henri Moissan tarafından elde edilmiştir. Fırın içerisine şarj edilen hammaddeler demir, borik asit ve kömürden oluşmaktadır. Ancak elde edilen ferrobor yüksek karbon içeriği nedeniyle geniş kullanım alanı bulamamıştır (Elyutin and Pavlov 1961).

1898 Yılında Goldschmidt tarafından thermite (termik) reaksiyonun bulunması, borik asitin aluminotermik redüksiyonla ferrobora redükleneceğini göstermiştir (Elyutin et al 1957).

Sussman ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda bor içeren curufların Silisyum ile redüksiyonu sonucu Fe-Si-B alaşımı üretilmiş ve reaksiyonun;
$2B_2O_3 + 3\ Si \rightarrow 4\ B + 3SiO_2$ şeklinde oluştuğu, redüksiyonu kuvvetlendirmek amacıyla bir miktar alüminyum redüktant olarak eklendiği, alaşımdaki max. bor konsantrasyonunu % 3.8, silisyumun max. konsantrasyonu % 9.1 olduğu görülmüştür (Sussman and Evans 1986, Sussman and Evans 1987).

Singhal ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise borik asitin dehidrasyonu 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 (Singhal 1986).

The London and Scandinavian Metallurgical Co. Firması borik asiti karbotermik reaksiyonla redüklemek suretiyle ; %16-18 B, %0.5 C, ve %0.15 'den az Al içeren bir ferrobor üretmişlerdir. Karbotermik ferrobor üretiminde fırına şarj edilen hammaddeler borik asit, kömür ve demir tozundan teşekkül eder. Bu reaksiyon elektrik ark fırınlarında yapılır (Angın 2003).

Bir Japon patenti, karbon astarlı bir Heroult-tip elektrik ark fırınında borik asit, demir tozu ve odun kömüründen karbotermik reaksiyonla ferrobor üretimi yapıldığını iddia etmektedir. Bir örnekte, 350 kW'lık üç fazlı bir elektrik ark fırınında %10.3 B, %2 Si, ve %0.98 C ihtiva eden ferrobor üretimini açıklamaktadır. Bor % 82 oranında kazanılmakta ve bir ton ferrobor üretimi için enerji tüketimi 4550 kWh' dır.
Başka bir Japon patentinde ise; özel bir dikey yüksek fırında (vertical blast furnace), ağırlıkça %3.3 B, %2.9 Si ve %3.0 C muhtevalı bir bor ve silisyum alaşımının karbotermik reaksiyonla üretildiğini iddia etmektedir. Bu ferrobor, amorf alaşımların üretiminde kullanılmak niyetiyle üretilmektedir (Angın 2003).

K.D. Frank tarafından açıklanan bu proseste, 1000 kW'lık bir elektrik ark fırınına kolemanit, kuvarsit, demir ve düşük sıcaklık kok kömüründen ibaret bir karışım şarj edilir. Fırından alınan alaşımın muhtevası %5.35 B, %37.2 Si, ve %0.21 C' dur. Bor kazanma randımanı %70 ve bir ton alaşım için enerji tüketimi 6000 kWh' dır (Angın 2003).

Gesellschaft für Elektrometallurgie firması üç fazlı bir submerged ark fırınında, borik asit ve demir oksiti odun kömürü ve diğer düşük yoğunluklu karbonlu maddelerle (örneğin agaç talaşı) aynı anda redüklemek suretiyle %15-20 B ve %0.1 den düşük Al içeren ferrobor üretmek için bir karbotermik proses geliştirmiştir (Angın 2003).

Bor oksit, demir oksit ve alüminyum tozundan ferrobor üreten Metallurg Group şirketi proses parametrelerini ayarlamak suretiyle, %18-20 B tenörlü ferrobor üretimi için %70-75 bor kazanma randımanı elde etmektedirler, %15-18 B tenörlü ürün için ise %80-85 bor kazanma randımanı elde etmektedirler. Bir kg bor için alüminyum tüketimi 4.8-5.0 kg kadar düşük olmaktadır (Angın 2003).

N.A. Chirkov adında bir uzman bor oksit veya borik asit kullanmak suretiyle bir elektro-alüminotermik ferrobor prosesi için kullanılan girdi miktarlarını ve ısı dengelerini araştırmıştır. Chirkov üç fazlı bir elektrik ark fırınına sırasıyla üç hammadde karışımı, igniting(ateşleme), main(ana karışım) ve precipitation (çöktürme) şarj edip bunların reaksiyonu neticesinde %20 B içeren ferrobor üretmiştir (Angın 2003).

Çalışmalardan birinde Yücel (1992) borik asit, demir oksit, odun kömürü ve tahta talaşının farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen şarj harmanının, 40 kg şarjlı 100 KVA' lık elektrik ark fırınında beslenerek farklı konsantrasyonlarda ferrobor üretilmiştir. Şarj içinde borik asit, demir oksit oranının ve sabit karbon miktarının arttırılması ferrroborda bor konsantrasyonunu artırırken karbon konsantrasyonu ve enerji tüketimi azalmıştır. Seçilen demir oksit ve odun kömürü cinsi ferrobor kalitesini ve üretim rejimini doğrudan etkileyeceği ifade edilmiştir.

Diğer bir çalışmada Yücel vd. (1996) Ferrobor % 10 – 20 arasında bor içerdiği ve bu çalışmada magnetik malzeme - kaplama malzemesi olarak kullanılacak ferrobor üzerinde çalışılacağı belirtilmiştir. Karbotermik yöntemle yapılan üretimde ferroborun hangi katmanda olacağı araştırılmıştır. Karışımda bulunan demir oksit, Borik asit, kömür ve talaş 100 kVA' lık elektrik ark fırınında ergitilmiştir. Kömür eklentisinin ferrobor oluşumunu etkilediği ve fazla eklenmesi durumunda ferrobor oluşumunun azalmakta olduğu görülmüştür. Fe – B' un alaşımlanması ile ark bölgesinde ferrobor oluştuğu görülmüştür.

Şahin ve Meriç (1999), bu çalışmada borlama sonucu yüzeylerde elde edilebilen bu üstün özelliklerin değişik endüstriyel uygulamalarda kullanımı hedeflenmiştir. Çalışmalarda toz metalürjisi alanında yaygın olarak kullanılan ASC 100.29 demir tozları borlanarak Fe_2B tozları elde edilmiştir. İşlemlerde uygulamadaki avantajları nedeni ile katı ortam borlama metodu tercih edilmiş, borlayıcı olarak Ekabor HM tozları kullanılmıştır. Tozlar, ağırlık olarak %80 ASC 100.29, %20 Ekabor HM oranında homojen olarak karışımları sağlanmış ve 850-950°C sıcaklık aralığında, 1-6 saat arasındaki sürelerde borlama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen numunelerde metalografik incelemelerle Ferrobor fazının oluşum ve gelişimi değişen işlem şartlarına bağlı olarak tespit edilmiştir. Borlama işlemi sonucunda sadece Fe_2B fazının oluştuğu buna karşılık FeB fazının oluşmadığı X ışını difraksiyon analizi ile tespit edilmiştir. Toz tanecikleri üzerinde mikrosertlik dağılımları ölçülmüş, Fe_2B fazının oluştuğu bölgelerde 2061 HV sertlik değerine ulaşan sonuçlar elde edilmiştir. SEM ve mikroskop analizleri sonucu borlanmış toz tanecikleri üzerinde oluşan fazların analizleri yapılmış, demir ve bor elementlerinin değişimleri incelenmiştir. İşlem şartlarına ve tozların tane büyüklüğüne bağlı olarak taneciklerin tamamında ya da bir kısmında Fe_2B fazı elde edilmiştir. Bu çalışma ile toz metalürjisinde, yüksek sertlik ve aşınma dayanımının ihtiyaç duyulduğu alanlarda kullanılabilecek bir ürün elde edilmiştir. Çalışmalarda ferrobor üretiminde bilinen yöntemlerden farklı bir yöntem ortaya konmuştur. Bu yeni yöntem ile yüksek saflıkta ferrobor üretimi mümkün olabileceği gösterilmiştir.

Yüksel ve Şahin (2014), ferrobor ve ferrokromun birleştirilmesiyle uygulamaları sonucunda mikro yapı ve aşınma direncini araştırmışlardır. Ark kaynağı kullanılarak AISI 1020 çeliğinden yapılan 5 farklı numune üzerine ferrobor ve ferrokrom bileşiği kaynak edilmiştir. Elde edilen numunelerin mikro yapı, SEM analizi, XRD analizi, sertlik testi ve kuru kum testi yapılmıştır. Sonuçlara göre ferrobor miktarı arttıkça aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

Mitsui Mining and Smelting Co. Ltd. tarafından yapılan bir çalışmada borik asit ve bor oksit kullanılarak ark fırınında ferrobor üretilmeye çalışılmış ancak oluşan borkarbür bloğu üretimi engellemiştir. Karbür oluşumunu engellemek için sisteme ilave edilen CaO, cüruf oluşturarak bor kayıplarına sebep olmuştur (Hahn and Retelsdorf 1985).

Hamada ve arkadaşları tarafından bor oksit, 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.

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

Yine Hamada ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada demir cevherini sinterlendikten sonra kok ile birlikte şaft fırınının tepesinden beslenmiştir. Bor hammaddesi olarakta borik asit kullanılarak yine tüyerlerden beslenmiştir. Düşük konsantrasyonlu ferrobor % 73 bor kazanma verimi ileyüksek konsantrasyonlu ferrobor % 67 bor kazanma verimi ile üretilmiştir.

Hamada ve arkadaşları tarafından ferrobor üretim çalışmaları uzun yıllardan beri devam etmekte olup ergitme işlemleri için şaft tipi fırının kullanıldığı, hammadde olarak bor oksit veya borik asit, ön redüklenmiş veya sinterlenmiş demir cevheri ve kok kömürünün fırına şarj edilerek, metalik cam üretimine uygun ferrobor üretilmeye çalışılmıştır (Hamada 1985).

Hahn ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada, bir elektrik ark fırını şaft tipi ark fırına dönüştürülerek, şarjın fırın içerisinde yüksek bir sütun halinde kalması sağlanmıştır. Hammadde olarak borik asit ve demir oksit, redüktant olarak 1-3 mm tane boyutuna sahip odun kömürü kullanılırken, şarj sütununda porozite oluşturmak amacıyla şarja 0.5 – 2.5 cm boyutlarında odun talaşı ilave edilmiştir. 280 – 330 kW/m^2 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/m^2 saat hızla elde edilirken bor kazanma verimi % 95, enerji tüketimi ise 35.5 kW/kg B olmuştur (Hahn and Retelsdorf 1985).

Koya Seki ve arkadaşları tarafından ferrobor üretmek amacıyla yapılan çalışmalarda da elektrik ark fırını kullanılmıştır. Karbür oluşumu ve empürite konsantrasyonlarının yüksekliği gibi problemler önlerine gelmiştir. Karbür oluşumunu engellemek için şarja ilave edilen karbon türü redüktantın azaltılması, elektrotlar arasındaki elektrik direncini arttırdığından elektrotların hareketini sınırlandırmıştır. Elektrotların sıkça metale dokunması ise elektrik yüklemesini imkânsız hale getirmiştir. Bu yüzden ergimemiş depozit adı verilen ve % 36.4 C, % 11.3 B içeren fazın kontrollü bir şekilde üretilmesi amaçlanmaktadır. Düşük reaktiviteli kömür kullanılması ergimemiş depozitoyu oluşturmuş ve bu andan itibaren stokiometrik miktarın % 90 geçmeyecek şekilde yüksek reaktiviteli kömür ilavesi birikintiyi kontrol altında tutarak, ergitmenin sorunsuz olarak sürmesini sağlamıştır (Seki and Hiromoto 1986).

Allied Corparation' 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. 300 ^{o}C' de ön ısıtma yapılarak karışım sinterlenmiştir. Sinterlenmiş ürünler döner fırında 1000 – 1300 ^{o}C' lerde redüklenerek ark fırınına aktarılmış. Deneyler sonucunda alaşımda B kazanma verimi % 68 – 86 arasında olmuştur (Hildebrand 1984).

2.8 Dünya Ferro Bor Üreticileri

- Metallurg Incorporatıon (ABD)
  - Shıeldalloy Metallurgıcal Corporatıon (ABD)
  - Eagle-Pıcher Technologıes, Llc (ABD)
  - F.W. Wınter Inc.& Co. (ABD)
- Galt Alloys, Inc. (ABD)
- Amerıcan Elements Corporatıon (ABD)
- Chemalloy Co. Inc. (ABD)
- Reactıve Metals & Alloys Corp. (ABD)
- Atomergıc Chemetals Corporatıon (ABD)
- London & Scandınavıan Metallurgıcal Co Lımıted (Lsm) (İngiltere)
- Gfe Gesellschaft Für Elektrometallurgie Gmbh (Almanya)
- Nıppon Denko Co.Ltd. (Japonya)
- Kobelco (Kobe) Steel, Ltd. (Japonya)
- Taıyo Koko Co.Ltd. (Japonya)
- Japan Metals & Chemıcals Co.Ltd (Japonya)
- Awamura Metal Industry Co.Ltd (Japonya)

- Steın Ferroaleacıones Sacıfa (Arjantin)
- Hongweı Ferro Boron-Alloys Co.Ltd. (Çin)
- Lıaoyang Ferroalloy (Group) Co.,Ltd. (Çin)
- Lıaoyang Internatıonal Boron Alloy Co. Ltd. (Çin)
- Hebeı Jındu Ferroalloy Co., Ltd. (Çin)
- Jıangxı Jıaxun Tungsten Co.Ltd. (Çin)
- Jılın Ferroalloys Group Corporatıon Lımıted (Çin)
- Acme Ferro Alloys Lımıted (Hindistan)
- L.R.Ferro Alloys Prıvate Lımıted (Hindistan)
- Mınex Metallurgıcal Co., Ltd. (Hindistan)
- Moldex Industrıes (Hindistan)
- Kovohute Mnisek, A.S. (Çek Cumhuriyeti)
- Fesıl Asa (Norveç)

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Kullanılan Materyaller

3.1.1 Hammaddeler

Ferrobor üretmek için yapılan deneylerde bor kaynağı olarak Ankara Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğünden temin edilen %98 saflıktaki Bor Oksit (B_2O_3) kullanılmıştır. Kullanılan B_2O_3' ün kimyasal bileşimi Tablo 9' da verilmiştir (http://www.etimaden.gov.tr, 2016).

Tablo 9. B_2O_3 kimyasal bileşimi

B_2O_3 %	SO_4 %	Fe %	Cl %
98.00 min.	PPM 500 max.	PPM 15 max.	PPM 10 max.

Demir kaynağı olarak piyasadan temin edilen 0.2 – 0.5 cm boyutlarında torna talaşı şeklinde SAE 1020 çeliği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan SAE 1020 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo10. SAE 1020 çeliği kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S
0.18	0.30	0.60	0.035	0.035

Deneylerde redükleyici olarak piyasadan temin edilen tane boyutu 1 – 3 mm aralığında olan kömür kullanılmıştır. Kullanılan kuru bazdaki kömürünün içeriği Tablo 11'de verilmiştir (http://www.taskomuru.gov.tr, 2016).

Tablo 11. Kömür içeriği

Kül %	Nem %	Uçucu Madde %	Sabit Karbon %	Toplam Kükürt %	Kalori Kcal/kg
9.50	7.54	27.12	63.38	0.49	7300

Üretilen ferrobor içindeki etkilerinin araştırılması için deneylerde kullanılan Eti Alüminyum A.Ş. den temin edilen % 99 saflıktaki tane boyutu 0.25 – 0.5 mm aralığında olan Al (Etial-1) kullanılmıştır. Kullanılan Al (Etial-1)' un kimyasal bileşimi Tablo 12' de verilmiştir (http://www.etialuminyum.com, 2016).

Tablo 12. Al (Etial-1) kimyasal bileşimi

Al %	Fe %	Si %	Cu %	Zn %	Ti %	Mn %
99.00	0.80	0.35	0.05	0.10	0.05	0.05

3.1.2 Cihazlar

Ferrobor üretimine yönelik olarak, elektrik ark ocağında karbotermik yöntemle yapılan deneylerde şamot refrakterden yapılmış potalar kullanılmıştır. Pota içerisindeki B_2O_3, Fe, kömür ve Al tozlarından oluşan karışım eklenmiştir. Karışımın ark bölgesine iletiminde gerekli titreşimi oluşturması için Miksan X-20 marka titreşim motoru, pota içerisinde ki hava ve nemin pota içerisinden ve ark bölgesinden uzaklaştırılması için Value 115 N markalı vakum pompası kullanılmıştır. Pota içerisinde bulunan (+) ve (-) kutuplu karbon elektrotlar kullanılarak ark oluşturulmuş ve bu arkın oluşabilmesi için enerji kaynağı olarak Nuriş RV-500 marka redresör kullanılmıştır.

Ark işlemi sonrasında elde edilen ürünlerin curuflarından ayrılması için kırma işlemleri yapılmıştır. Yapılan işlemler sonrasında her deney grubunda elde edilen ürünlerin hassas terazide tartımları yapılmıştır. Daha sonrasında ise yüzeylerinde gerekli metalografik işlemlerin yapılabilmesi için Tegramin 30 marka yüzey parlatma cihazı kullanılarak yüzeyleri zımparalanarak yüzey parlatma işlemleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ferrobor ürünlerinin XRD analizinde Rikagu Ultima IV marka XRD analiz cihazı, mikroyapı görüntülerinin alınması için Tronik marka optik mikroskobu, SEM ve EDX incelemelerinin yapılabilmesi için Carl Zeıss Ultra Plus Gemını Fesem marka taramalı elektron mikroskobu ve XRF elementel analizin yapılabilmesi için Rikagu ZSX Primus II marka XRF analiz cihazı kullanılmıştır.

3.2 Deney Çalışmaları

Deneylerde kullanılan B_2O_3 Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğünden, Al Eti Alüminyum A.Ş. den, Fe ve kömür ise iç piyasadan temin edilmiştir. Deneylerde gerekli ergitme için oluşturulan ark sistemi Şekil 9'da verilmiştir. Tasarlanan sistemde temel olarak kullanılması planlanan oranlar Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 13. Temel olarak alınacak oranlar

B_2O_3 (Gr)	SAE 1020 Çeliği (Gr)	Kömür (Gr)
148.1	83.6	76

Karışıma katılan alüminyumun karışımdaki oranları Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. Deneysel çalışmalarda kullanılan Al oranları (%)

Grup	1.Grup Deneyler	2.Grup Deneyler	3.Grup Deneyler	4.Grup Deneyler	5.Grup Deneyler
Al (%)	0.00	1	2	3	4

5 farklı grup deneysel çalışmada B_2O_3, Fe, Al ve kömür tozları döner karıştırıcıda homejen bir karışım oluşana dek karıştırılmış ve sonrasında ark sisteminde pota içerisine besleme yapılmıştır.

Kullanılacak grafit elektrotlar bakır kaplamalı olup, üst elektrot yukarı ve aşağı yönlü hareketli, alt elektrot ise sabittir. Üst elektrotun hareketi dişli bir sistem vasıtasıyla sağlanmış böylece elektrotun hareketi ile arkın oluşturulması kolaylaştırılmış ayrıca ark kesilmelerine karşı da hızlı bir şekilde müdahale şansı bulunmuştur.

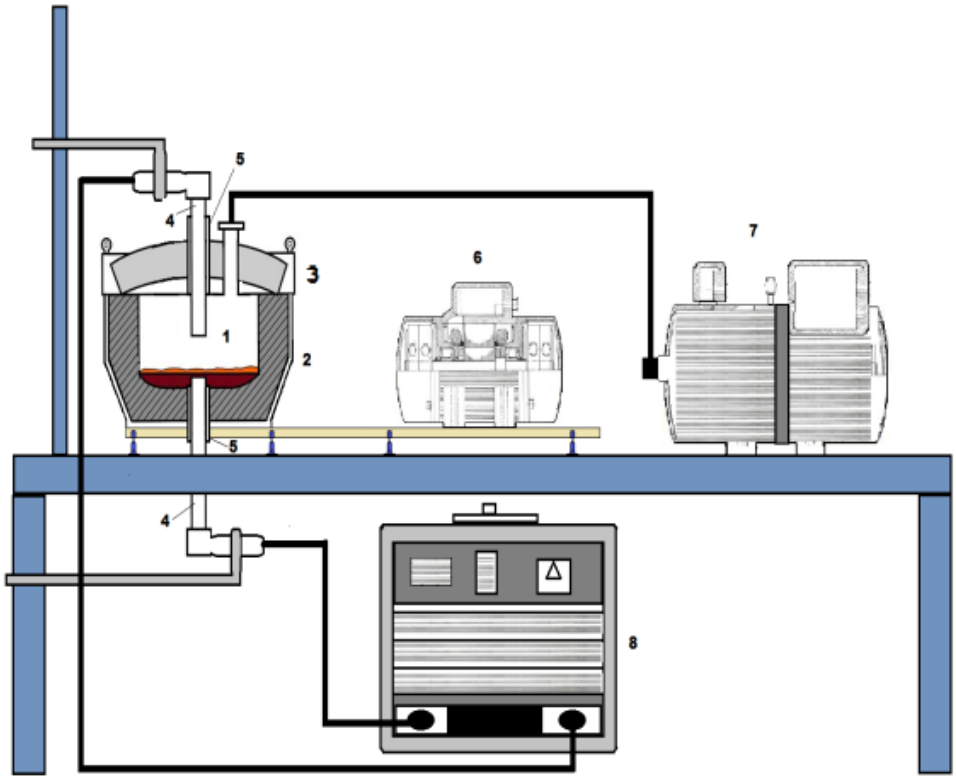
Grafit elektrotların pota içerisine girerken ki hareketleri esnasında oluşabilecek reaksiyonları önlemek için potanın alt kısmında ve kapaktaki elektrot giriş yerlerine seramik borular konulmuştur.

Pota içerisindeki hava miktarının ayarlanması için vakum pompası potaya borular vasıtasıyla bağlanarak kullanılmış, ayrıca grafitin işlenmesi ile elde edilen kapak pota üzerine vidalanarak içerdeki hava oranının dengelenmesi sağlanmıştır. Vakum pompası ile pota içerisindeki fazla havanın çekilmesi ile elde edilen ferroborun oksitlenme eyliminin önüne geçilmiş, ayrıca sistemden Oksijen başka bir işleme gerek kalmadan uzaklaştırılmıştır.

Sisteme bağlamış olduğumuz titreşim motoru ise sadece potaya hareket verecek şekilde sisteme bağlanmış, titreşim motorunun potaya vermiş olduğu hareket sayesinde pota içerisinde bulunan tüm tozların ark bölgesine iletilmesini sağlamıştır.

400 Amper seviyesinde ki kaynak redresöründen yapılan bağlantıda (+) uç potaya üstten verilen elektroda bağlanmış (-) uç ise sabit olan potanın altındaki elektroda bağlanmıştır. Pota içerisinde bulunan tüm tozların reaksiyona sokulmasıyla ark oluşturulmuştur. Redüksiyon ve ergitme işlemi başladıktan sonra şarjın tamamının ark bölgesine giderek arka dâhil olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Maksimum 15 dk. süren ergitme deneylerinde, ergitme işlemleri son bulduğunda istenilen miktarda ürün alındıktan sonra pota içerisinde bulunan üst elektrotun yukarı doğru harekete geçirilmesi ile ark kesilerek içi şarjla dolu olan pota soğumaya bırakılmıştır. Tasarlamış olduğumuz deney düzeneği Şekil 9 da şematik olarak verilmiştir.



Şekil 9. Tasarlanan deney düzeneği

Deney düzeneği: 1- Ark oluşacak bölge, 2- Pota, 3- Pota kapağı, 4- Grafit elektrot, 5- Seramik boru, 6- Titreşim motoru, 7- Vakum pompası, 8- Kaynak Redreserü

Pota tamamen soğuduktan sonra pota tabanında birikmiş olan ürün çıkarılarak numune alma işlemleri yapılmıştır. Şekil 11' de görülen numuneler cüruflarından ayrıldıktan sonra yüzeylerinin düzgün ve pürüzsüz olabilmesi için SiC den yapılan aşındırıcılarla zımparalanmışlardır. Tegramin 30 markalı döner disk sisteminin kullanıldığı zımparalama işlemlerinde 80-240-400-800-1000-1200 numaralı zımpara kâğıtları sırasıyla kullanılmış, son yapılan zımparalama işleminden sonra numune yıkanmış ve parlatma işlemi öncesinde kurumaya bırakılmıştır. Elde ettiğimiz numunelerin yüzeylerinin düzgün, çiziksiz bir yapıda olması için gerekli olan parlatma işlemi elmas pasta (3 ve 1 mikron) sürülmüş çuhaların bulunduğu döner diskler kullanılarak yapılmıştır.

Yüzeyleri tamamen parlatılan numunelerin mikro yapılarına bakılabilmesi için gerekli dağlama işlemi nitrik asit ve alkolden oluşan % 2 ‘lik nital kullanılarak yapılmıştır. Dağlama işlemi sonrasında yüzeyler mikroskop incelemesine uygun hale gelmiş ve mikro yapılar incelenmiştir.

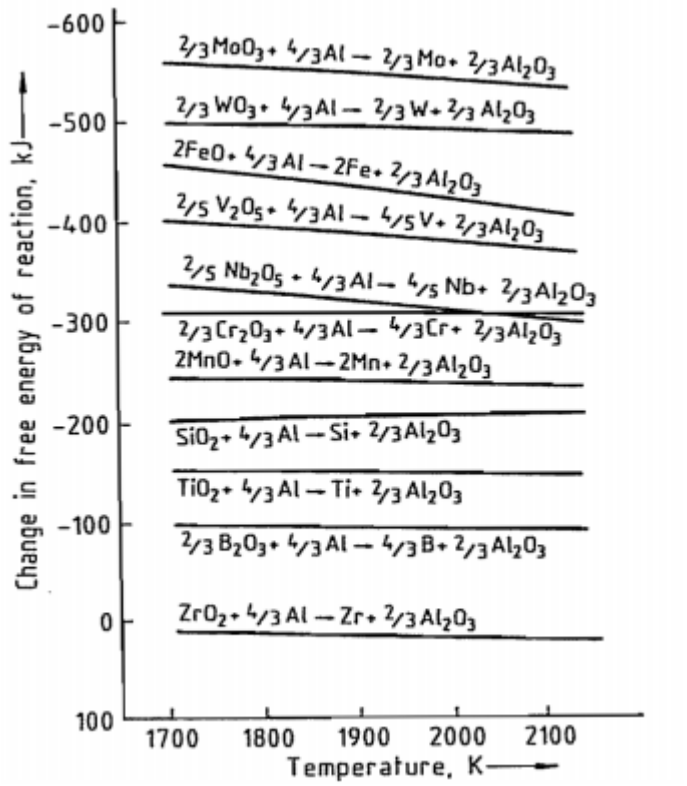
5 ayrı grup deneysel çalışma sorasın da elde edilen numunelerden X-Işınları Difraktometresi Analizine tabi tutulacak olanlar dövme işlemi uygulanarak toz haline getirilmiş ve Rikagu Ultima IV marka XRD analiz cihazı ile gerekli analizleri yapılarak veriler ve pikler elde edilmiştir.

X-Işınları Floresan Spektrometresi (XRF) analizine tabi tutulacak 5 grup numune Rikagu ZSX Primus II marka XRF analiz cihazı ile analiz yapılarak sonuçlar pikler ve veri şeklinde alınmıştır.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM+EDX) görüntüleme işlemi yapılacak numuneler Carl Zeıss Ultra Plus Gemını Fesem marka taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş ve görsel veriler alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan deneylerde toplamda farklı miktar ve oranlardaki B_2O_3, Fe, Al ve kömür tozları ark oluşturmak suretiyle reaksiyona sokulmaktadırlar. Reaksiyon sonrasında yapılan analizlerin sonucuna göre FeB – Fe_2B' nin elde edilmesi ve elde edilen ferrobora Al' un etkisinin araştırılarak görülmesi amaçlanmaktadır. Pota içerisinde meydana gelen ergitme işlemi sırasında meydana gelen ve gelebilecek olan reaksiyonlar Şekil 10 incelenerek aşağıda Tablo 15'de verilmiştir.



Şekil 10. Oksitlerin Al ile indirgenmesinde reaksiyon serbest enerji değişimi (http://www.met.yildiz.edu.tr/, 2016)

Tablo 15. Pota içerisinde ergitme işlemi sırasında meydana gelen ve gelebilecek olan reaksiyonlar

$B_2O_3 + 2Al \rightarrow 2B + Al_2O_3$
$Fe_2O_3 + C \rightarrow 2FeO + CO$
$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow 2Fe + Al_2O_3$
$2\ FeO + 4/3Al \rightarrow 2\ Fe + 2/3\ Al_2O_3$
$B + Fe \rightarrow FeB$
$8/3\ Fe + 2/3\ B_2O_3 \rightarrow 4/3\ Fe_2B + O_2$
$FeB + O_2 \rightarrow 4/3\ Fe_2B + 2/3\ B_2O_3$
$8/3\ FeB + 8/3\ Fe \rightarrow 8/3\ Fe_2B$

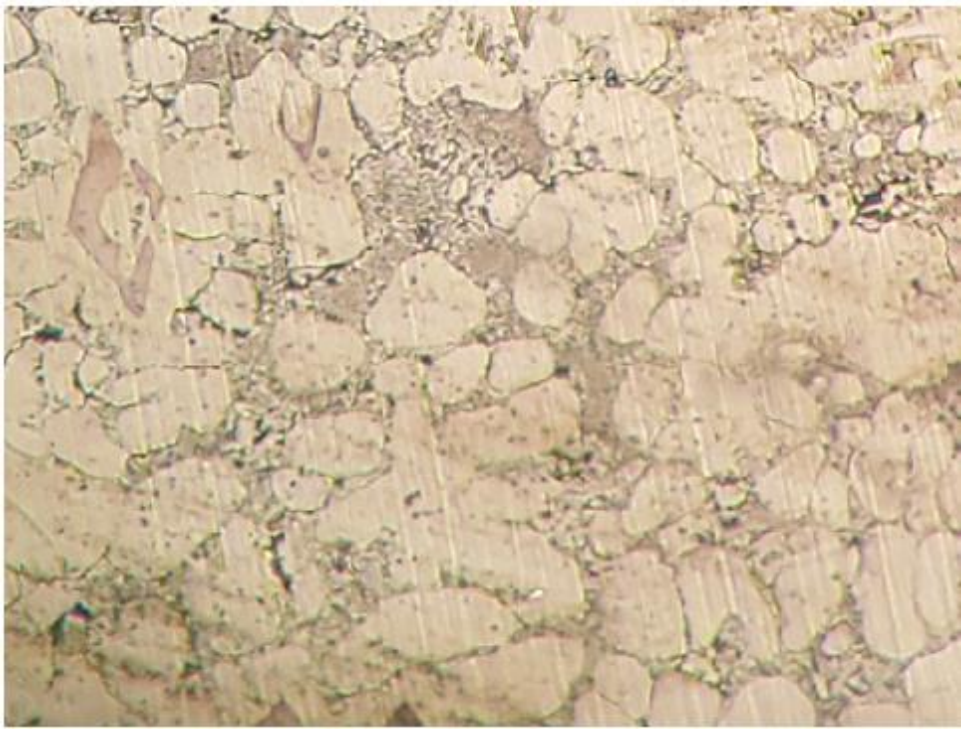
Gerekli ergitme işlemi sonrasında potadan çıkartılan ferrobor parçaları Şekil 11'de verilmiştir.



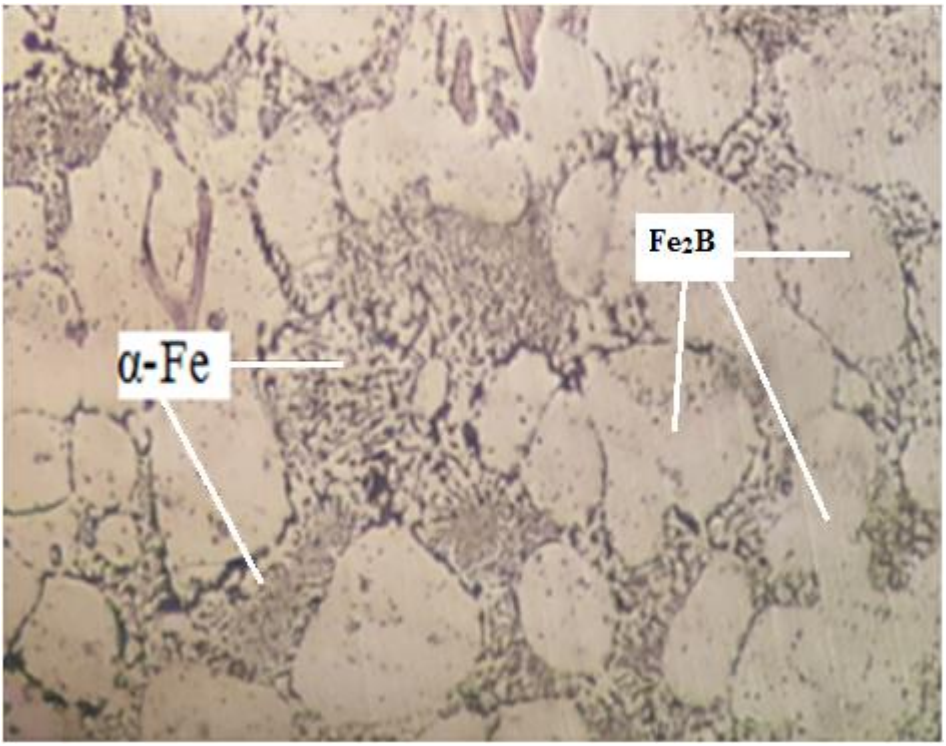
Şekil 11. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen ferrobor örnekleri

4.1 Optik Mikroskob Mikro Yapı İncelemesi

Şekil 12-13-14-15-16' da elde edilen numunelerin optik mikroskop mikro yapı fotoğrafları verilmiştir. Optik mikroskop mikro yapı görüntülerine bakıldığında tüm numunelerde Fe_2B fazlarının oluştuğu ve ferrobora geçen bor miktarı arttıkça Fe_2B fazına ilaveten FeB fazlarının yer aldığı da görülmektedir. Numunelerin üretilmesi esnasında farklı miktarlarda eklenen Al yapıda oluşan FeB ve Fe_2B miktarlarında değişiklik göstermesine neden olmuştur. Bu değişiklik alüminyumun alüminatermik reaksiyonla ortam ısısını arttırması ve ferrobora geçen bor miktarını arttırmasıyla ilişkilendirilmektedir (Eroğlu 2009).



(a)

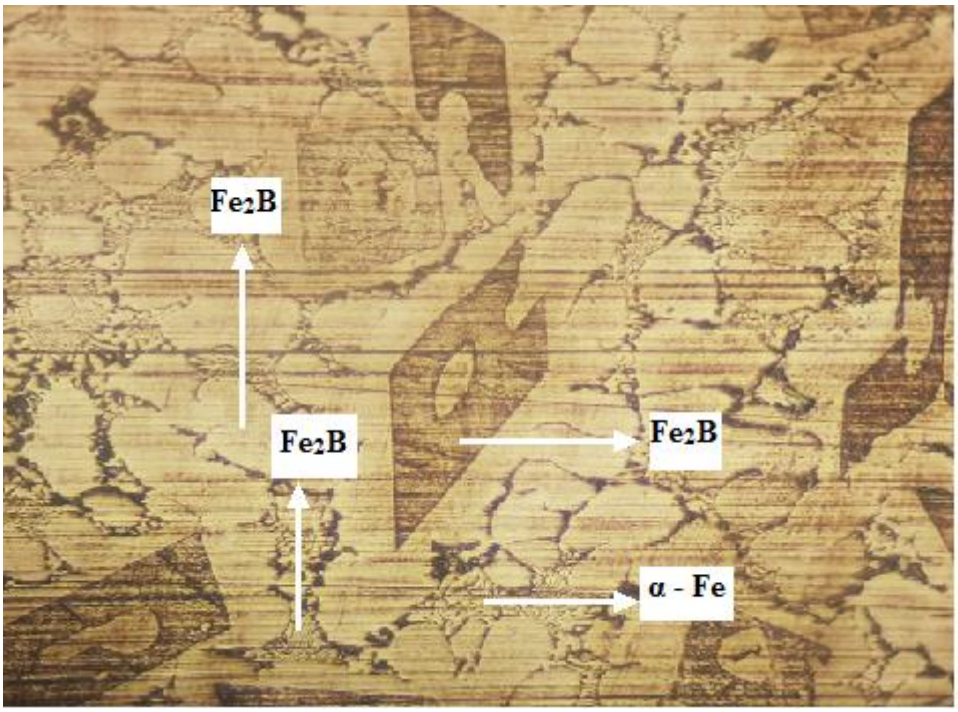


(b)

Şekil 12. 1. grup numunelere ait (a) 200 X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli optik mikroskop mikro yapı fotoğrafları



(a)

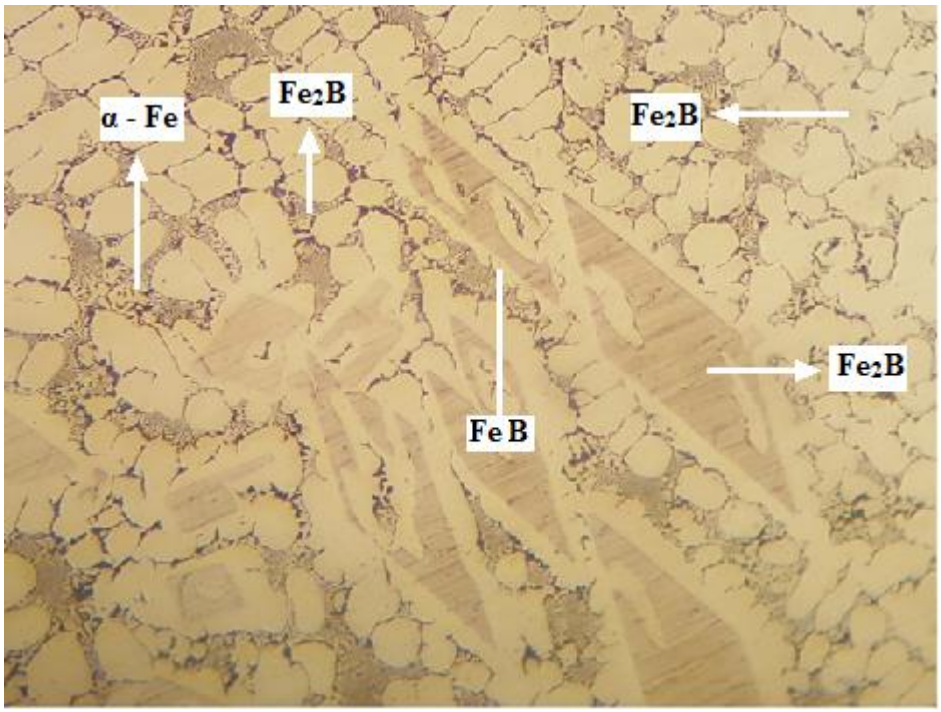


(b)

Şekil 13. 2. grup numunelere ait (a) 200 X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli optik mikroskop mikro yapı fotoğrafları

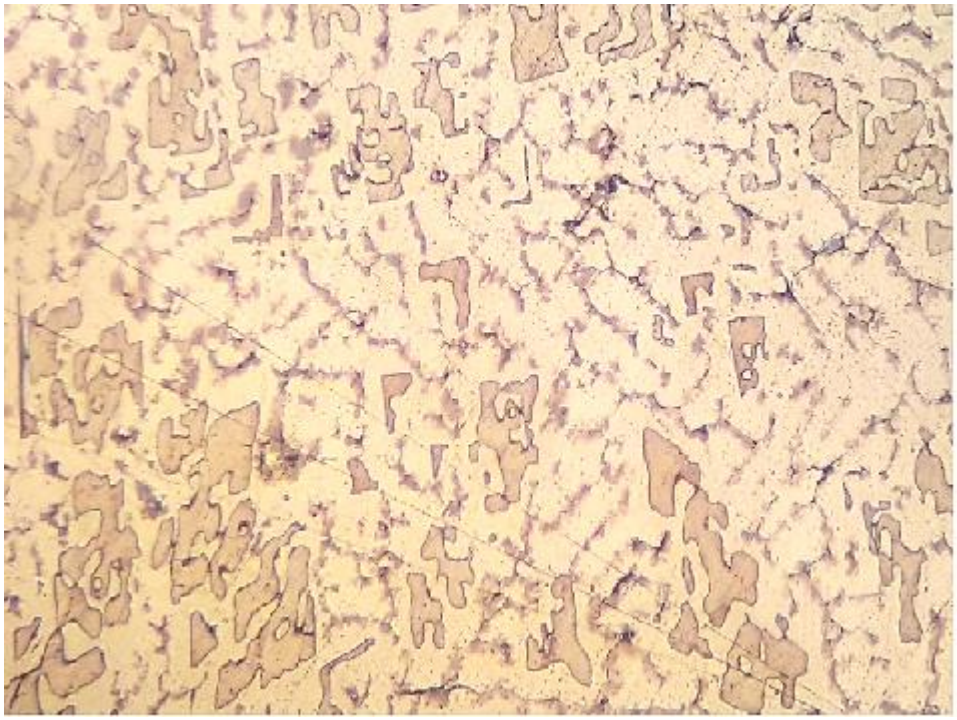


(a)

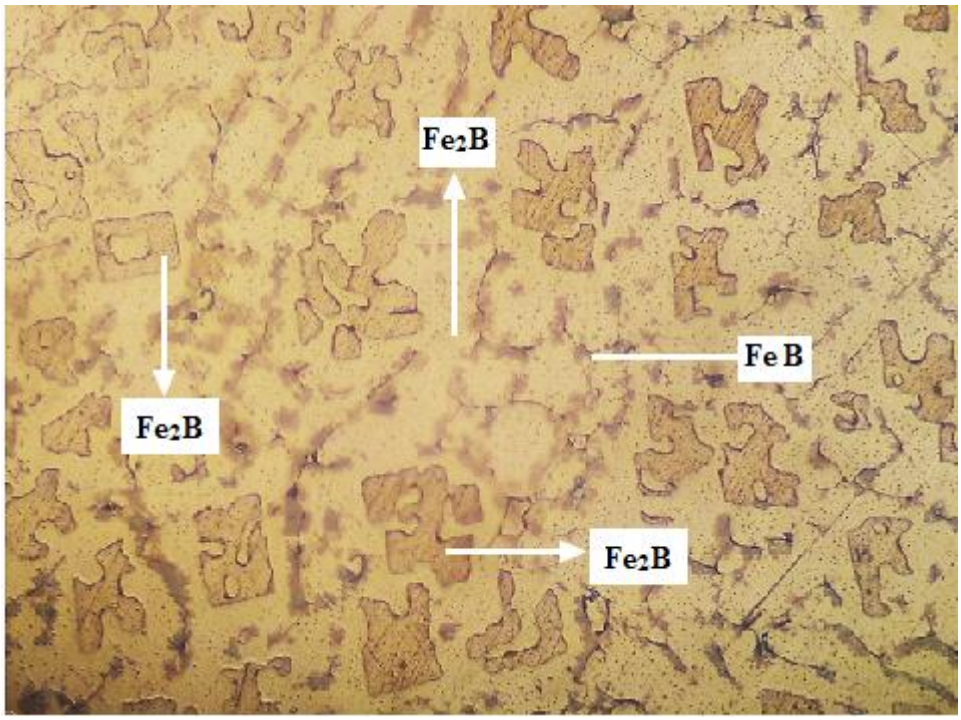


(b)

Şekil 14. 3. grup numunelere ait (a) 200 X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli optik mikroskop mikro yapı fotoğrafları

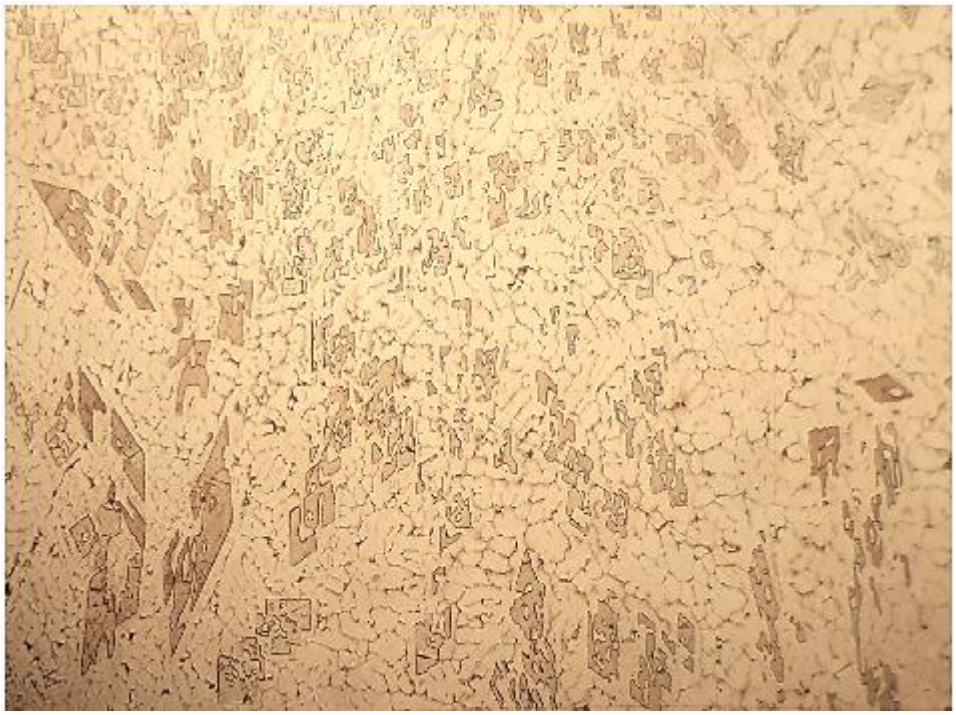


(a)

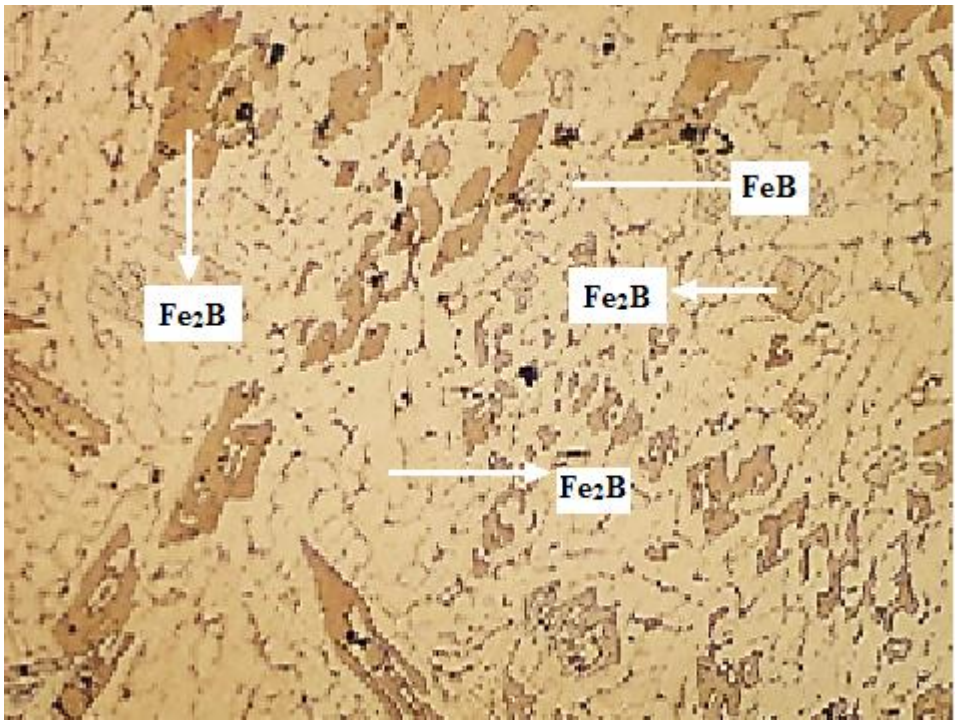


(b)

Şekil 15. 4. grup numunelere ait (a) 200 X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli optik mikroskop mikro yapı fotoğrafları



(a)

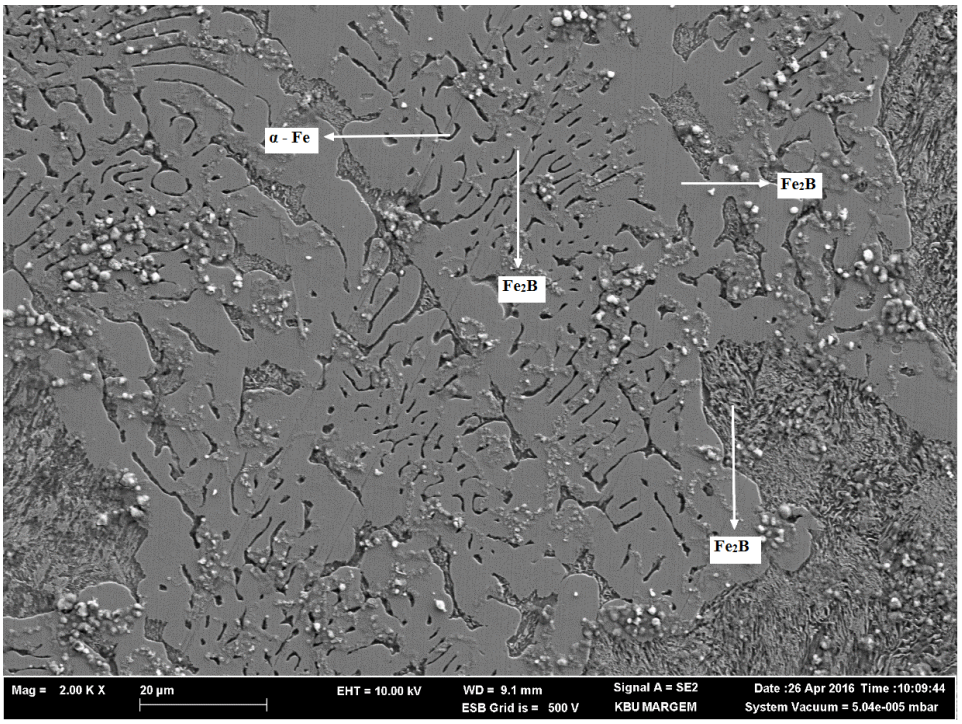


(b)

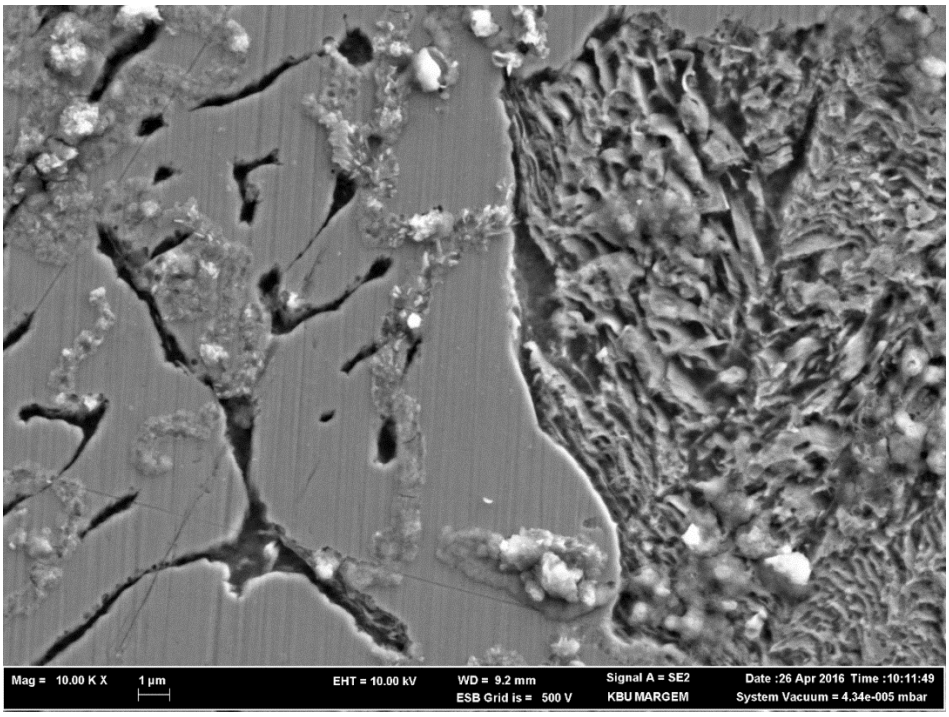
Şekil 16. 5. grup numunelere ait (a) 200 X büyütmeli, (b) 400 X büyütmeli optik mikroskop mikro yapı fotoğrafları

4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Mikro Yapı İncelemesi ve EDX Analizleri

Optik mikroskopta olduğu gibi aynı fazlar taramalı elektron mikroskobu (SEM)' da da tespit edilmiştir. Ayrıca SEM altında EDX noktasal analizleri de alınmıştır. Bunlar Şekil 17 -20 -23 -26 -29 ve Tablo 16 -17 -18 -19 -20' de verilmiştir.

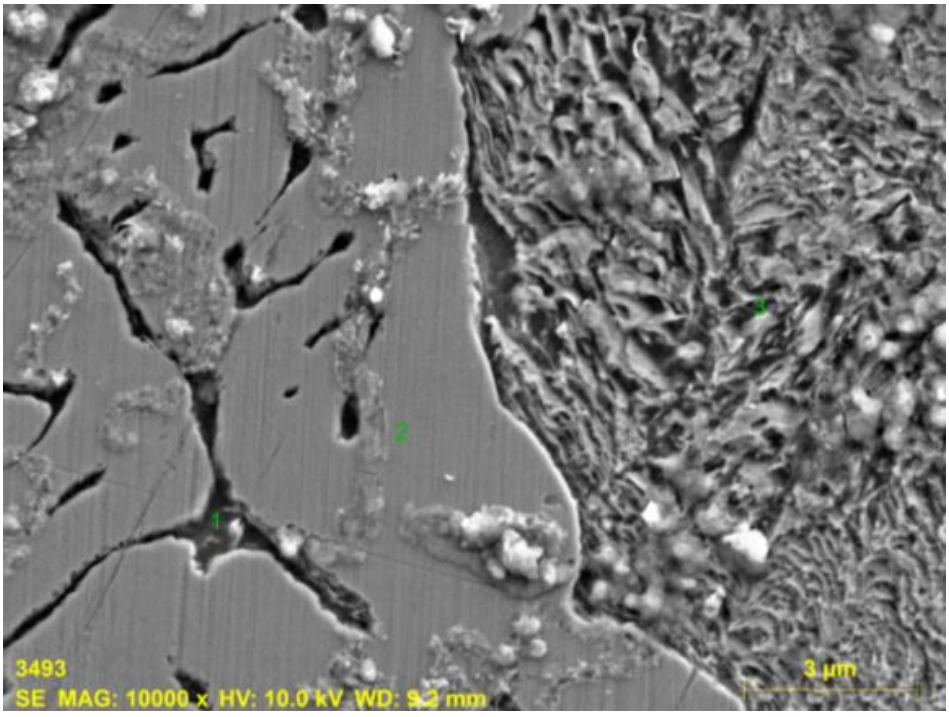


(a)

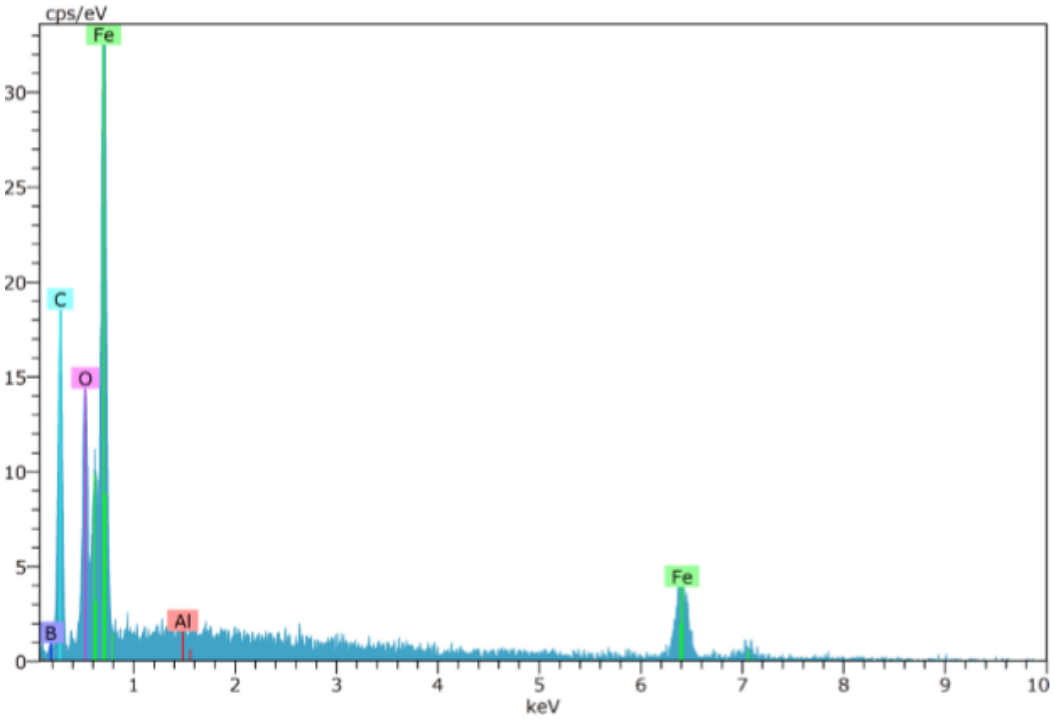


(b)

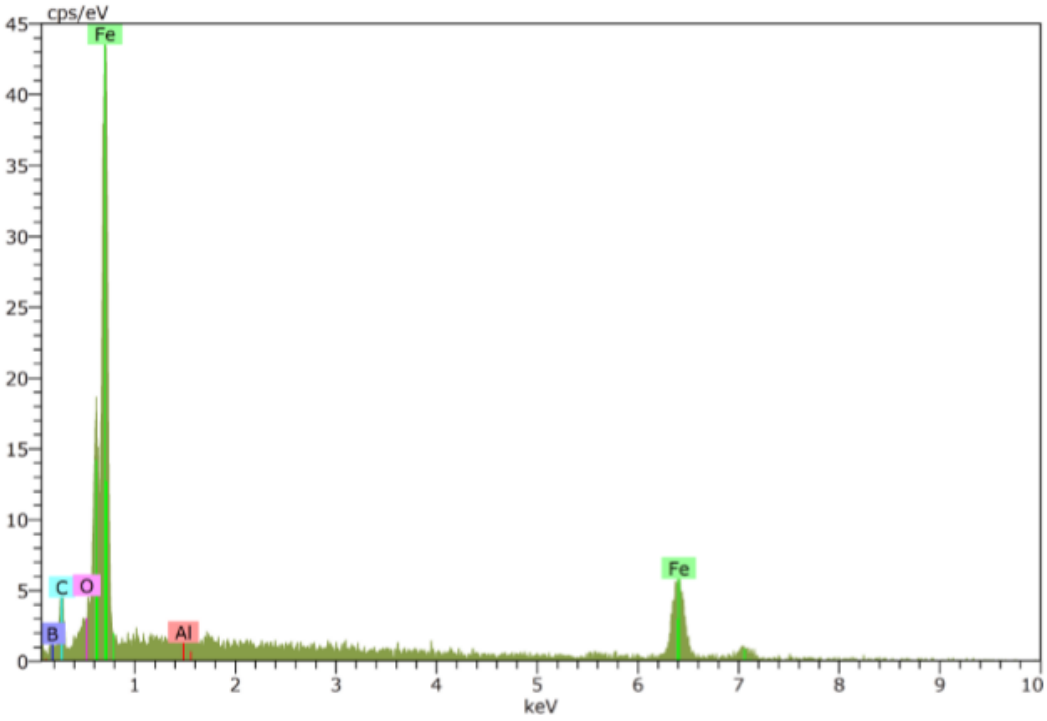
Şekil 17. 1. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları



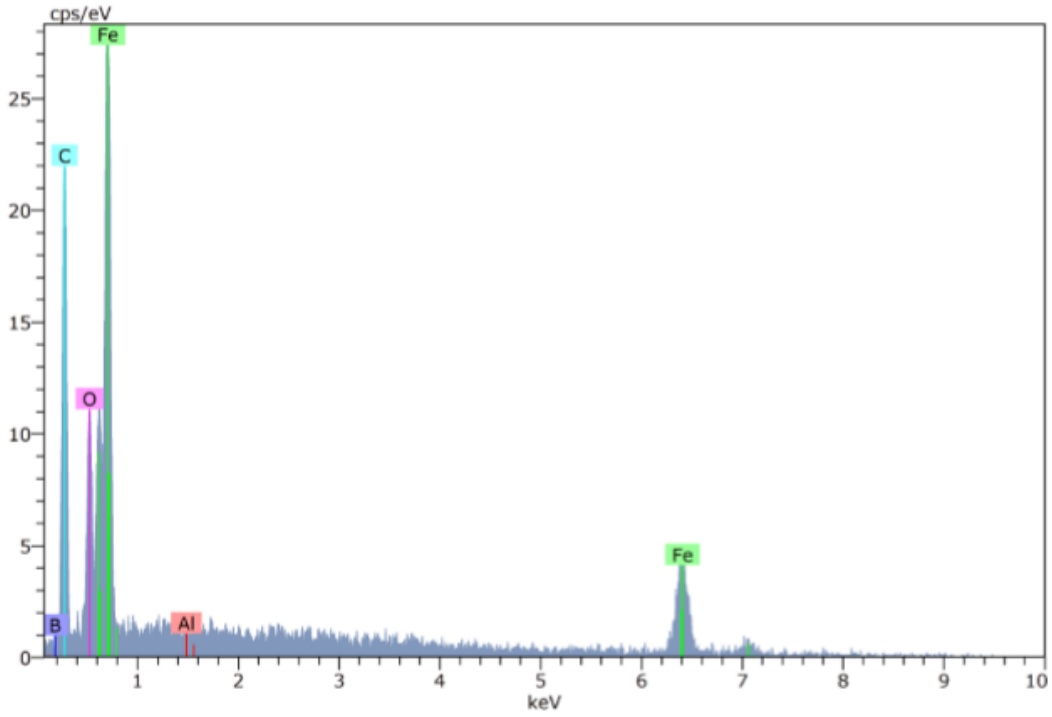
Şekil 18. 1. grup numunelere ait 1-2-3 spektrumları için 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı



(1)



(2)

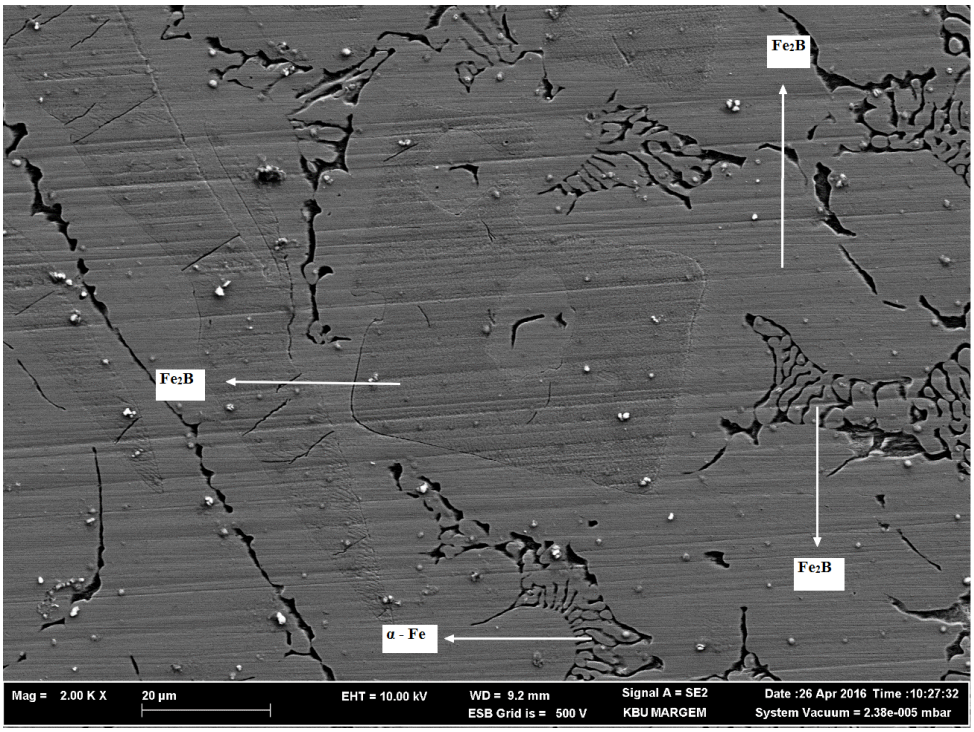


(3)

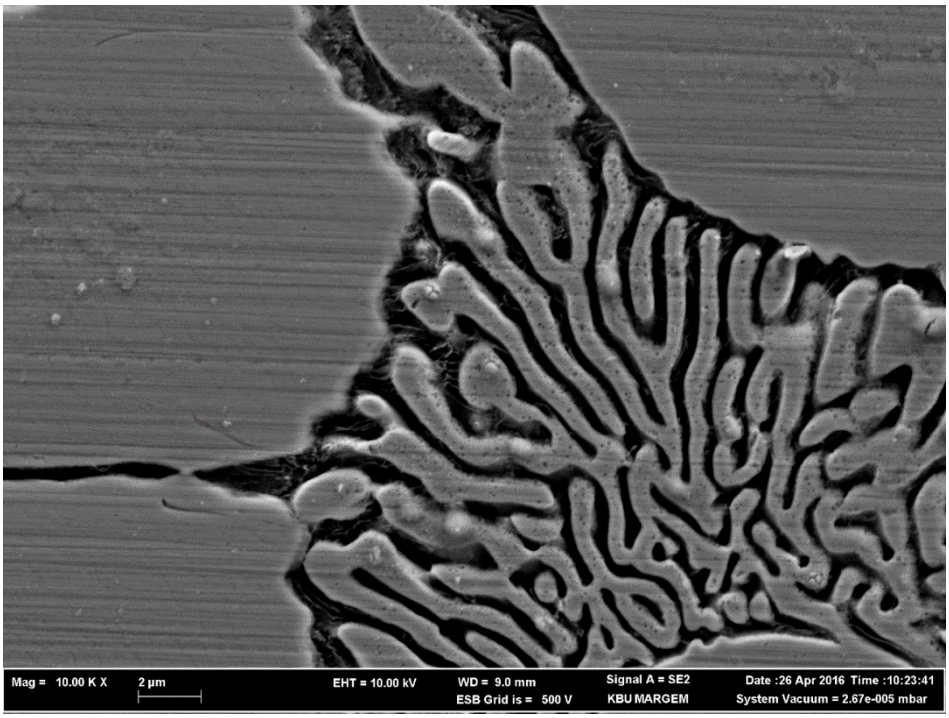
Şekil 19. 1.grup numuneler için 1-2-3 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri

Tablo 16. 1-2-3 bölgesel spektrumlara ait yüzdeler (ağırlıkça)

Mass Percent %					
Spectrum	B	C	O	Al	Fe
1	2,41	18,56	9,84	0,17	69,03
2	6,07	5,43	1,56	0,07	86,98
3	3,92	22,72	7,33	0,06	65,97

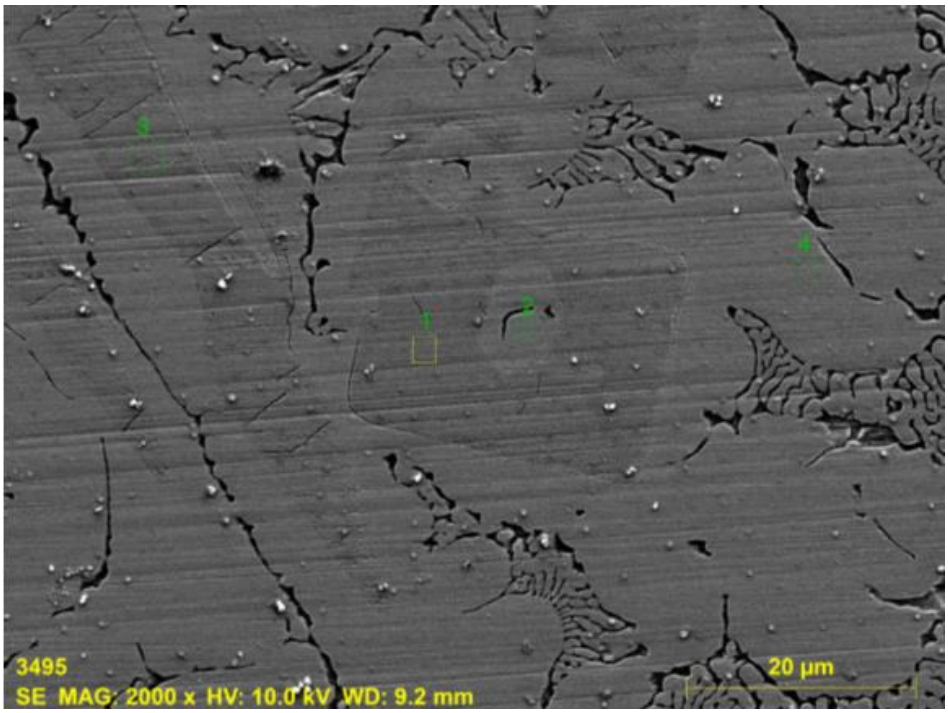


(a)

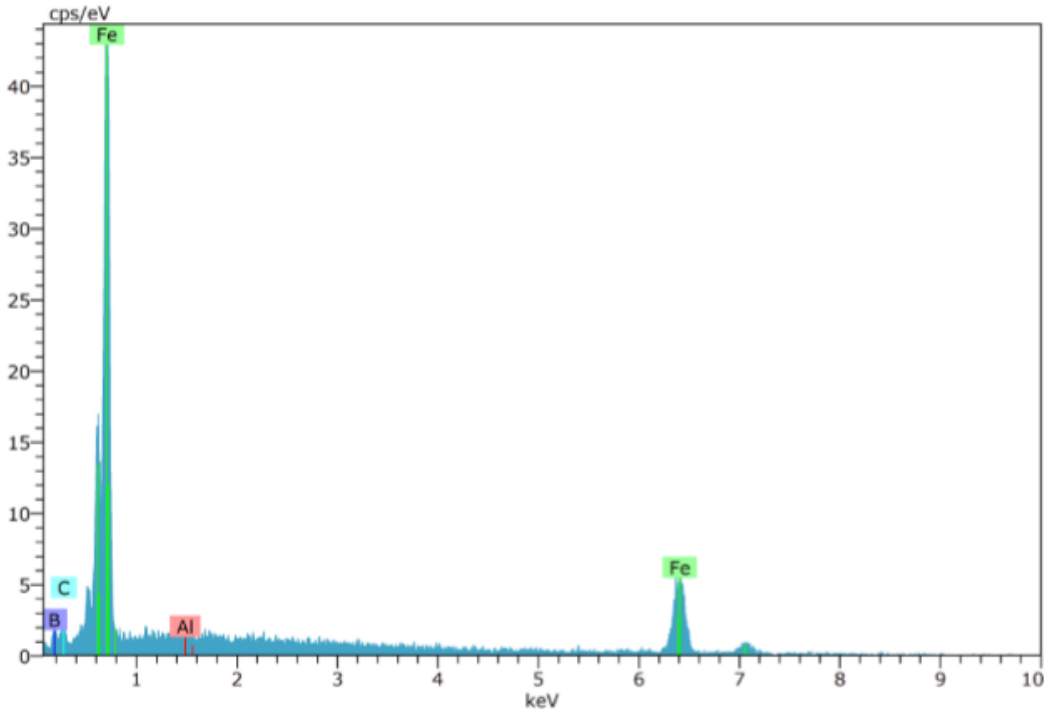


(b)

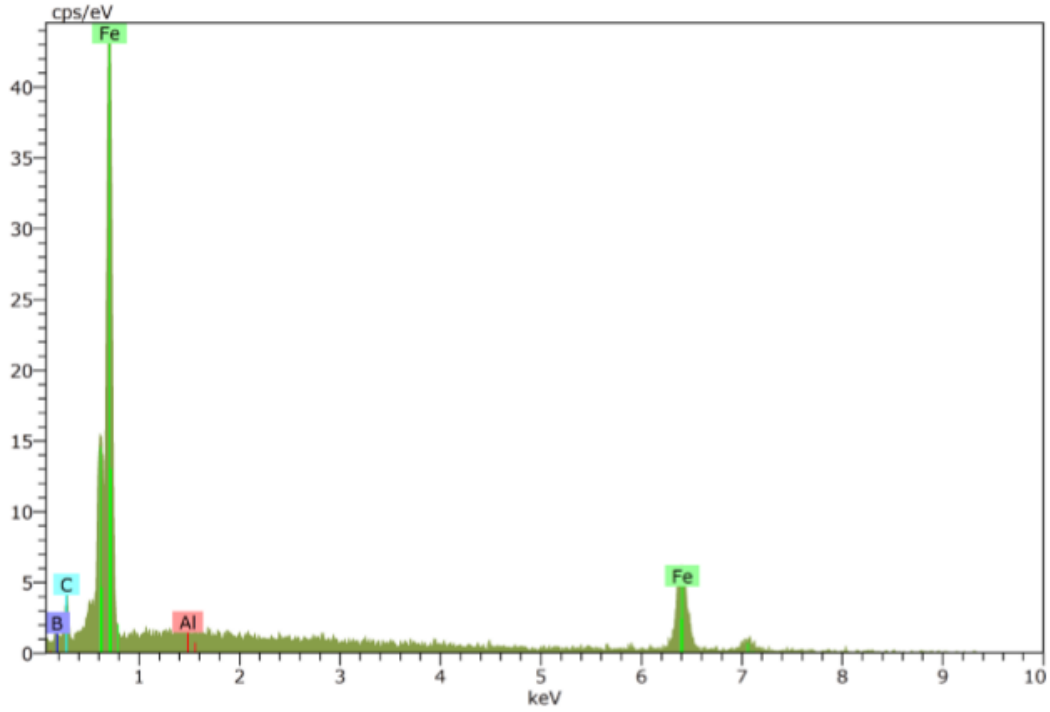
Şekil 20. 2. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları



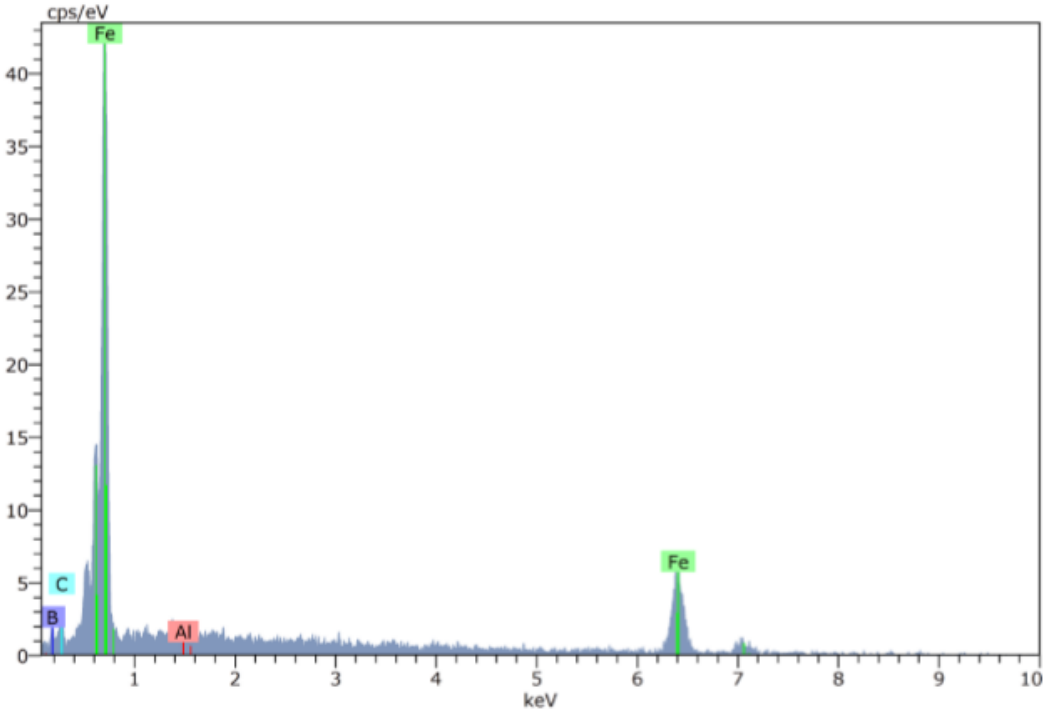
Şekil 21. (a) (b) 2. grup numunelere ait 1-2-3-4 spektrumları için 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı



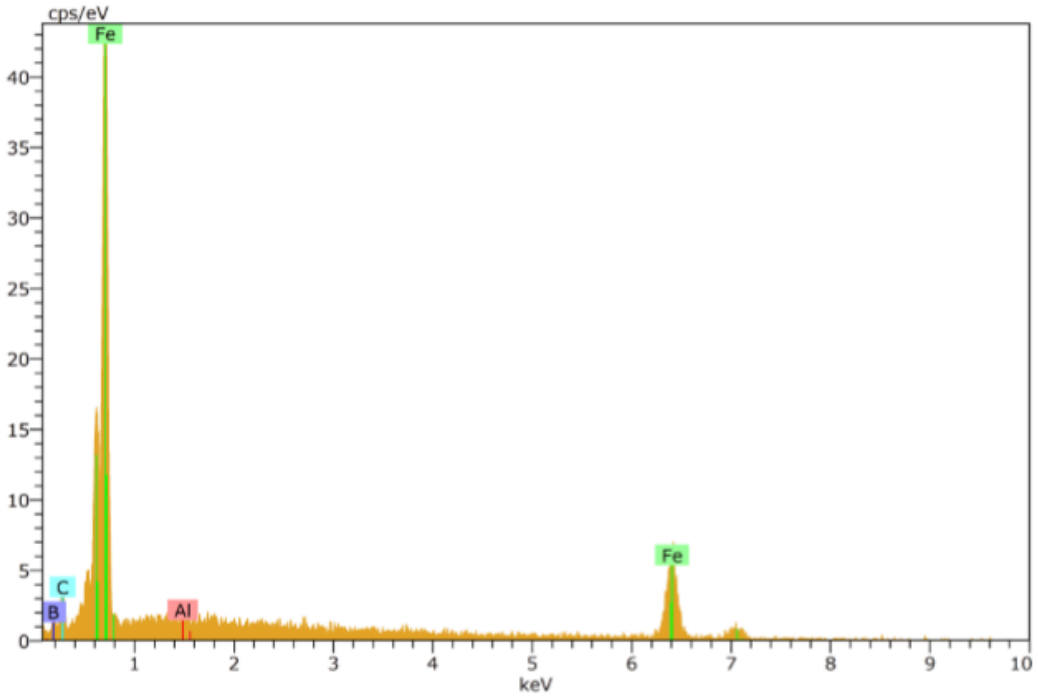
(1)


cps/eV
Fe
40
35
30
25
20
15
10
5
0
C
B
Al
Fe
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
keV

(2)


cps/eV
Fe
40
35
30
25
20
15
10
5
0
C
B
Al
Fe
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
keV

(3)

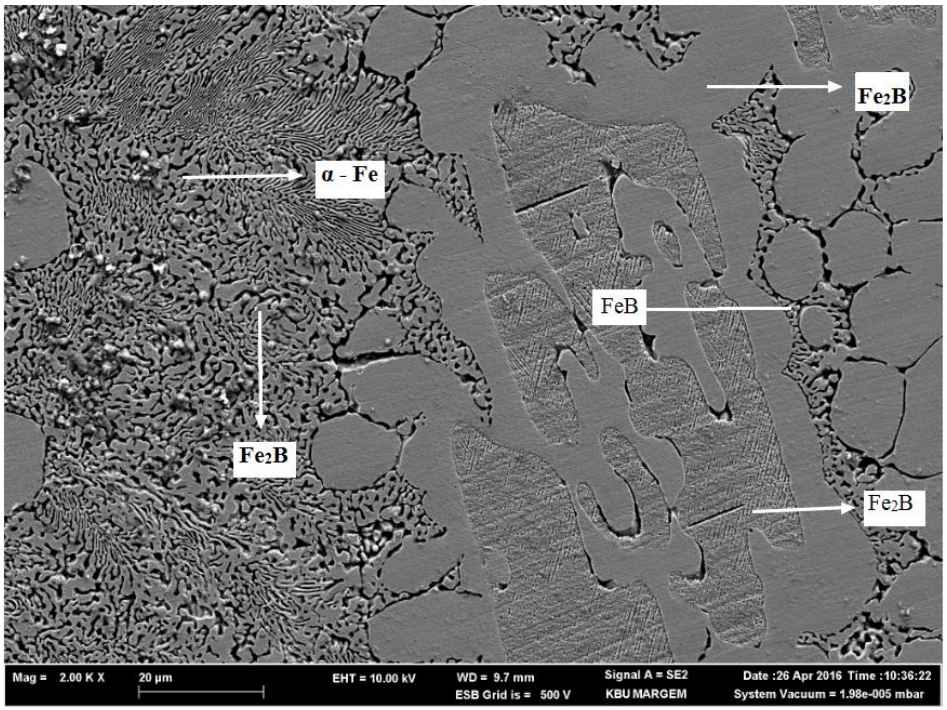


(4)

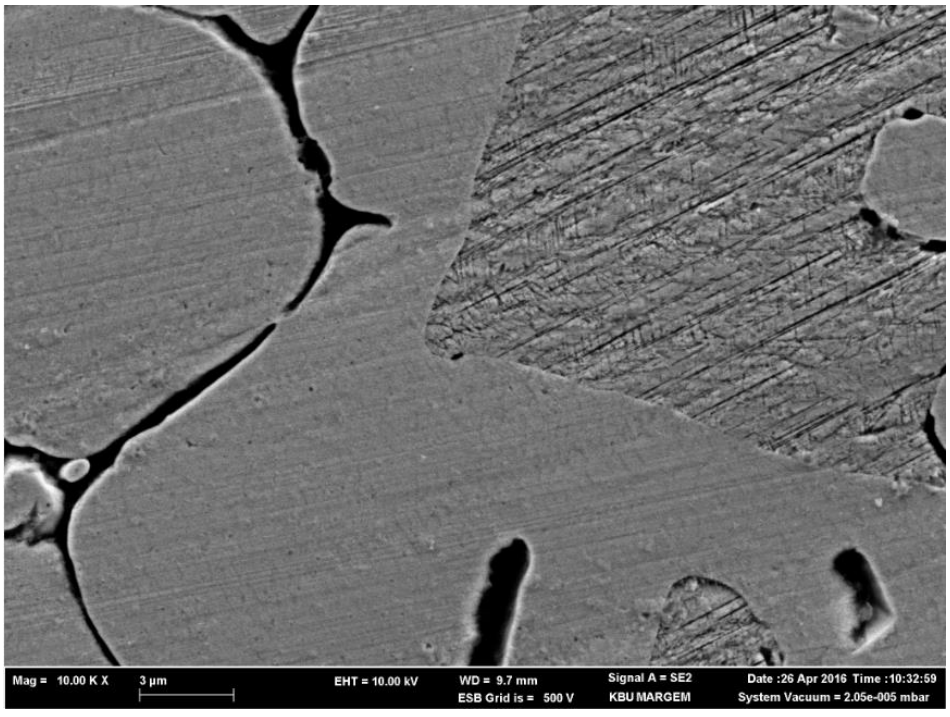
Şekil 22. 2.grup numuneler için 1-2-3-4 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri

Tablo 17. 1-2-3-4 bölgesel spektrumlara ait yüzdeler (ağırlıkça)

Mass Percent %				
Spectrum	B	C	Al	Fe
1	11,84	2,84	0,01	85,31
2	8,73	4,49	0,04	86,74
3	10,74	3,04	0,00	86,22
4	8,58	4,18	0,01	87,23

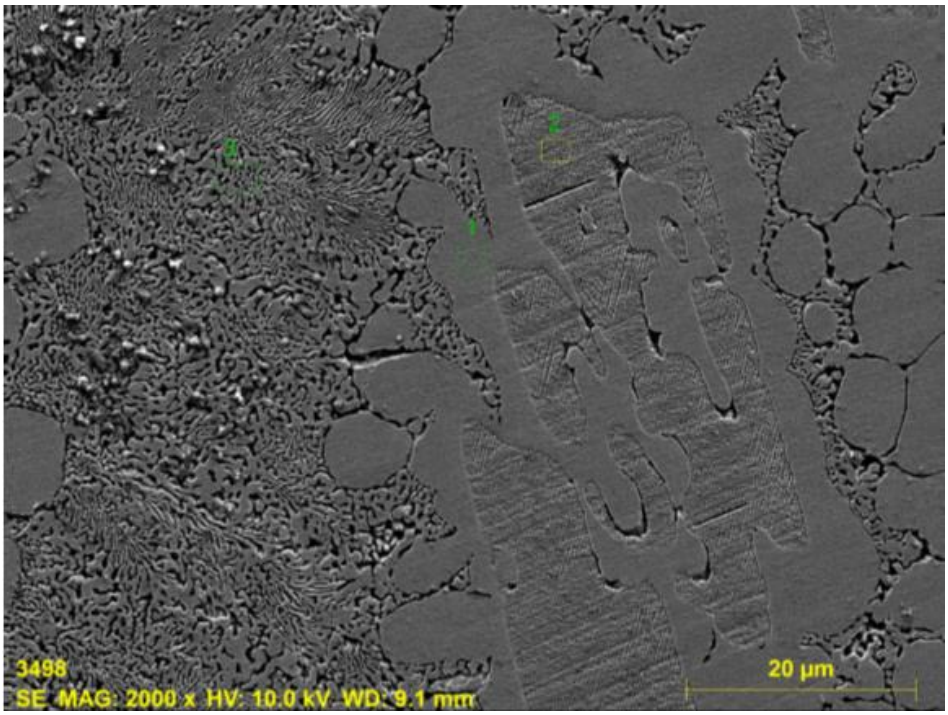


(a)

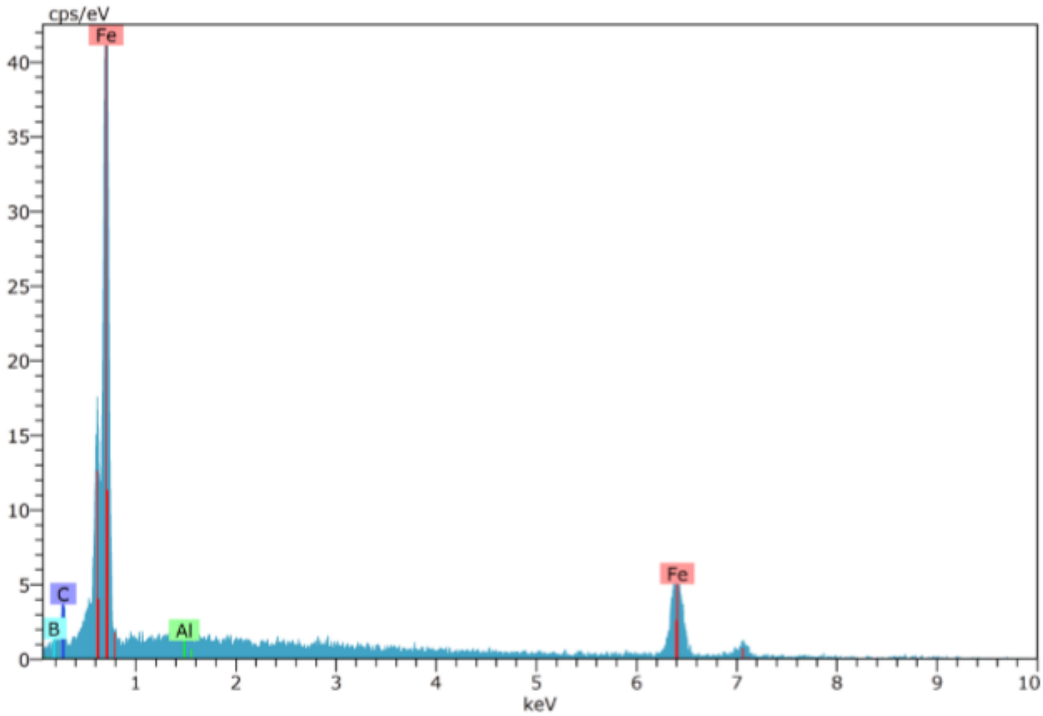


(b)

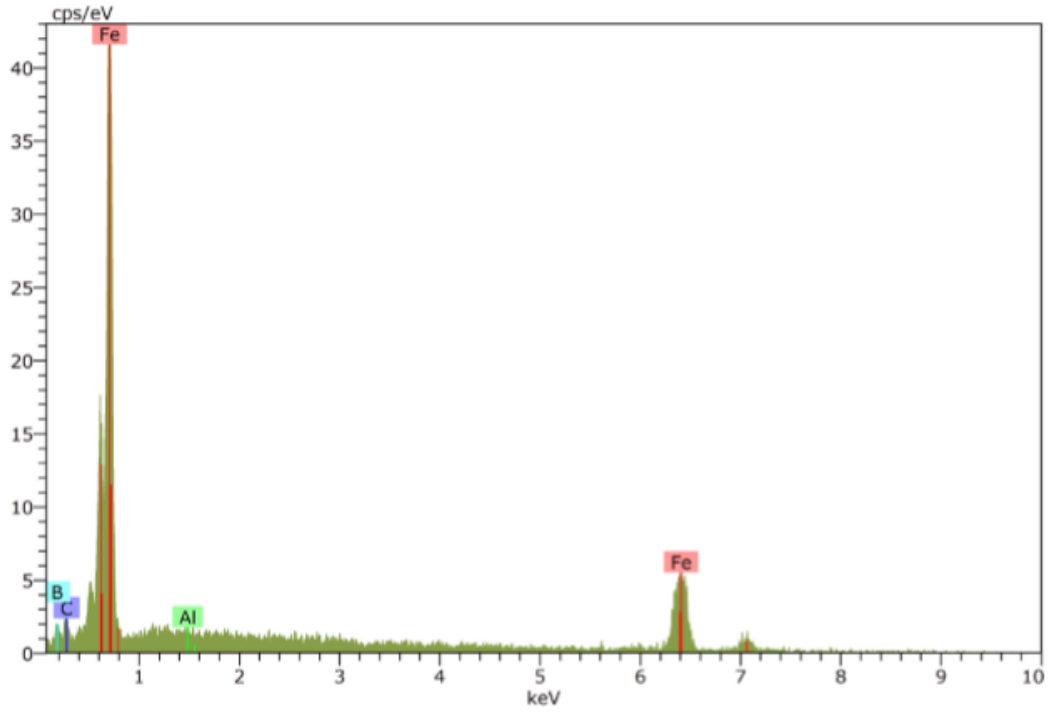
Şekil 23. 3. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları



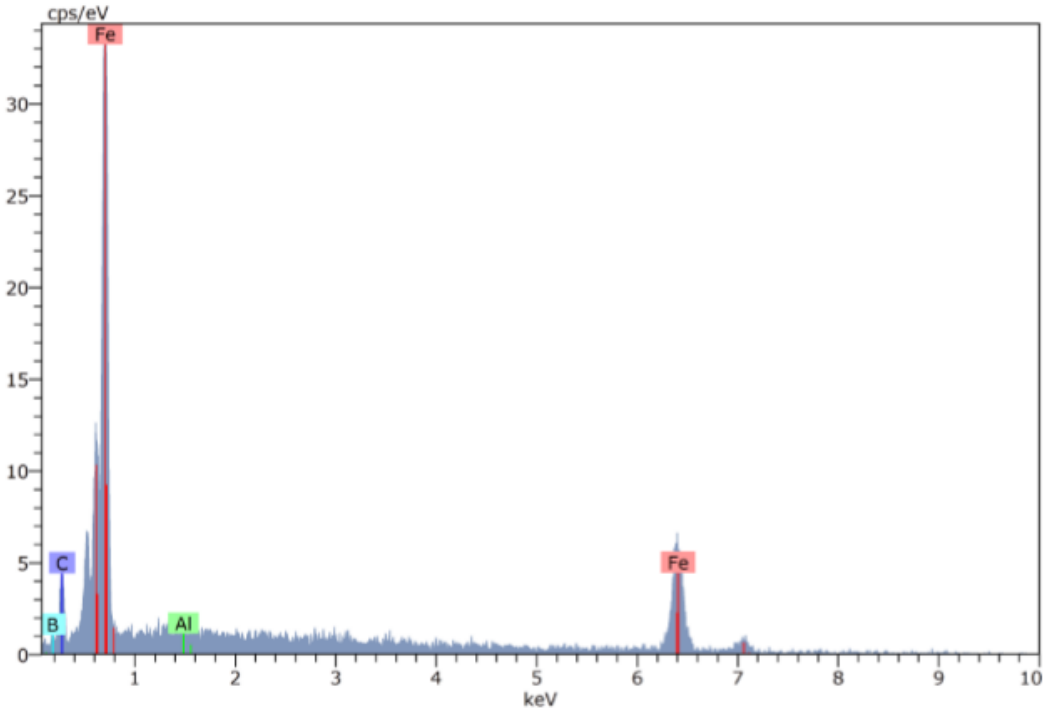
Şekil 24. (a) (b) 3. grup numunelere ait 1-2-3 spektrumları için 2.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı



(1)



(2)

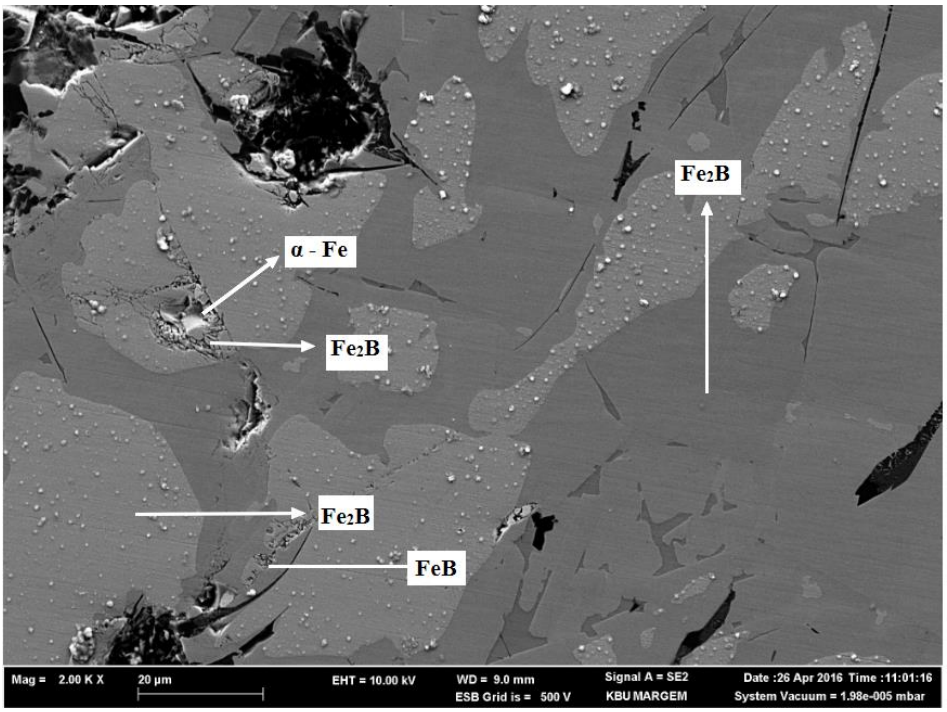


(3)

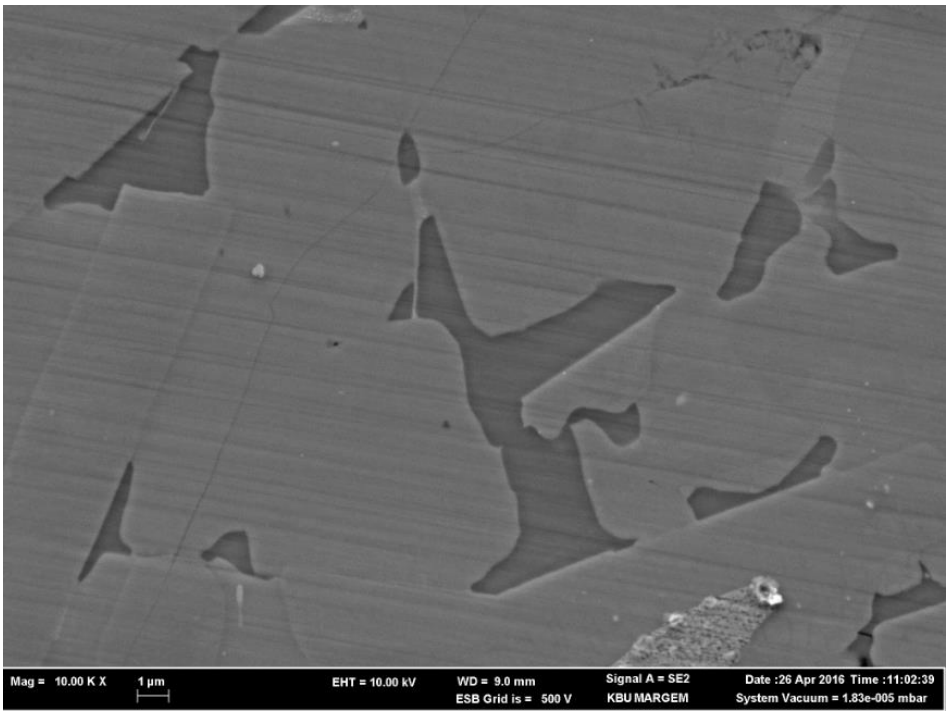
Şekil 25. 3.grup numuneler için 1-2-3 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri

Tablo 18. 1-2-3 bölgesel spektrumlara ait yüzdeler (ağırlıkça)

Mass Percent %				
Spectrum	B	C	Al	Fe
1	7,65	4,17	0,00	88,17
2	11,46	2,67	0,05	85,82
3	6,33	5,20	0,09	88,38

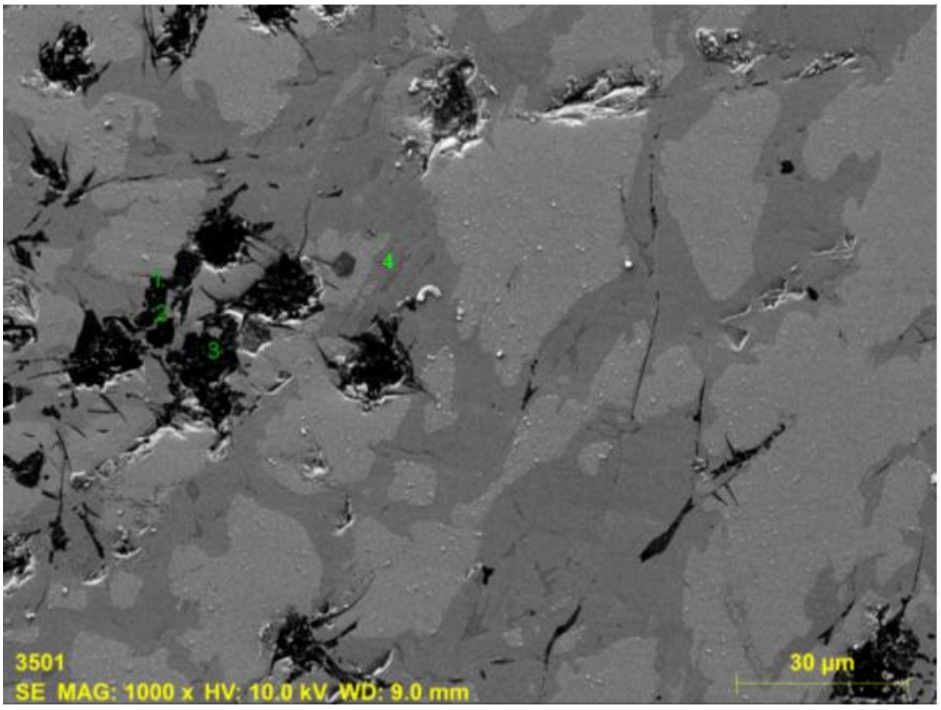


(a)

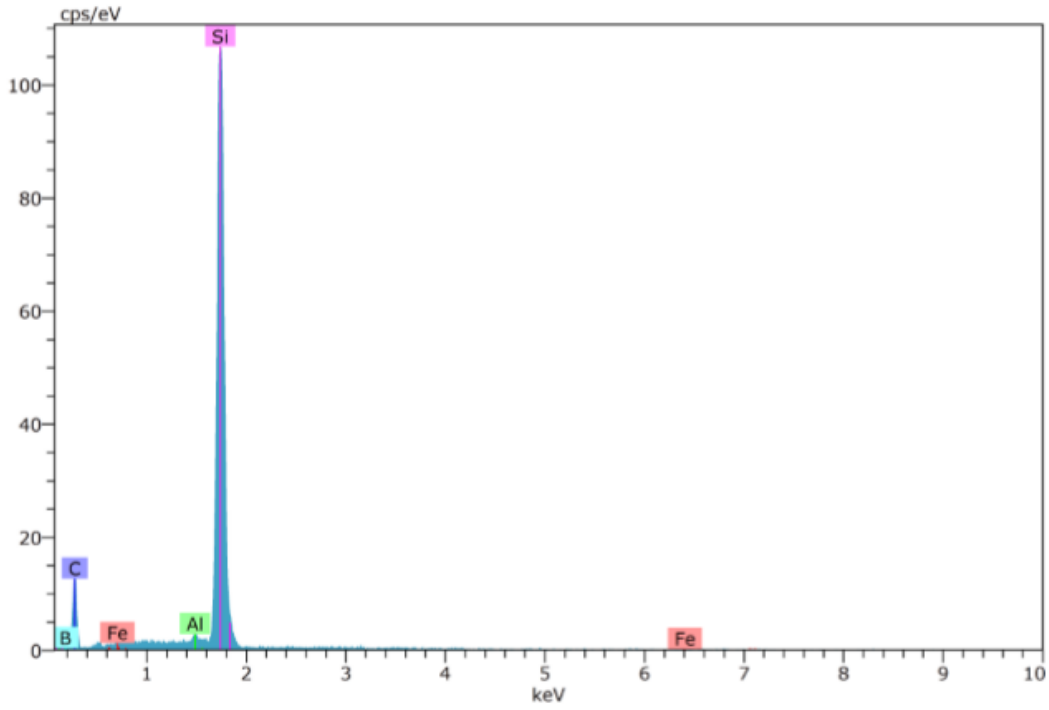


(b)

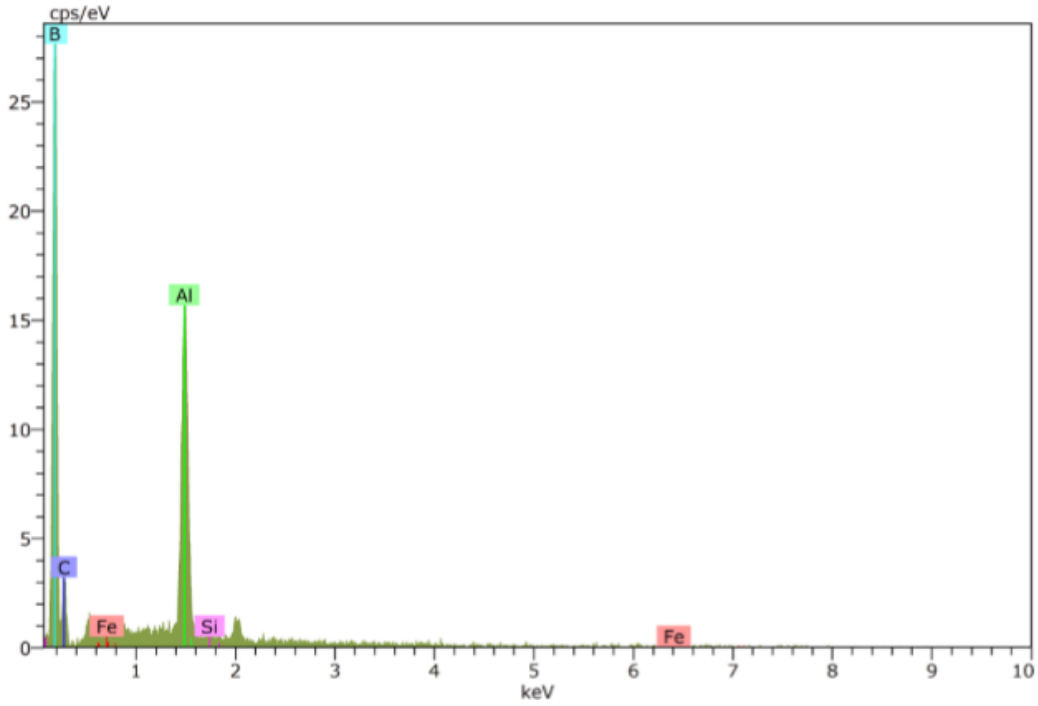
Şekil 26. 4. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları



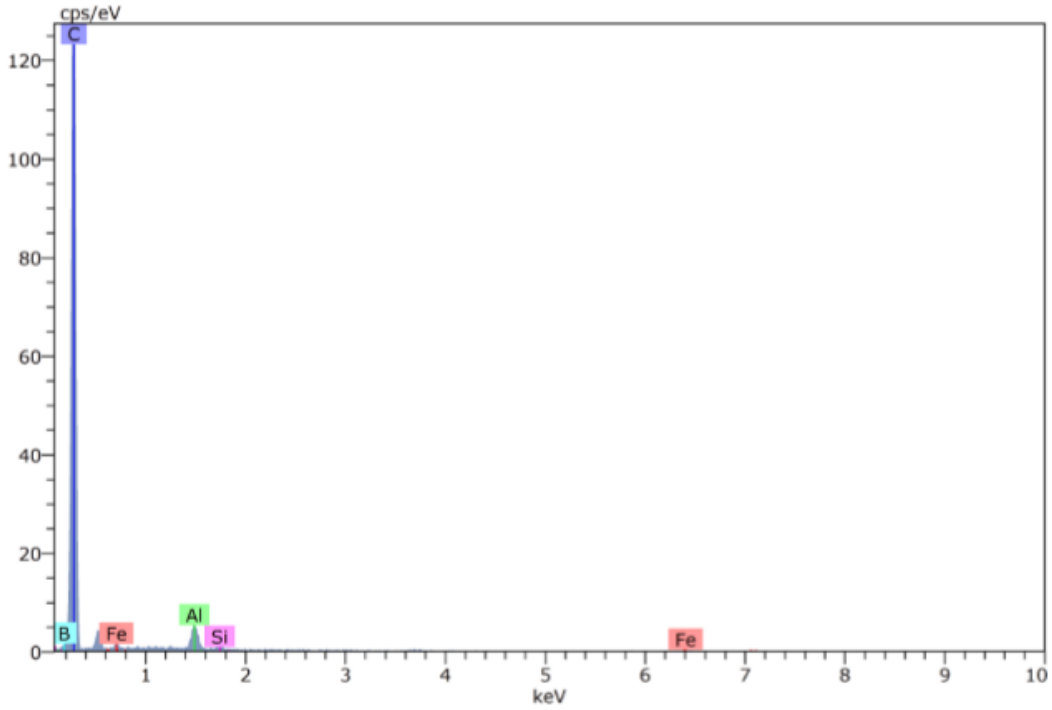
Şekil 27. (a) (b) 4. grup numunelere ait 1-2-3-4 spektrumları için 1.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı



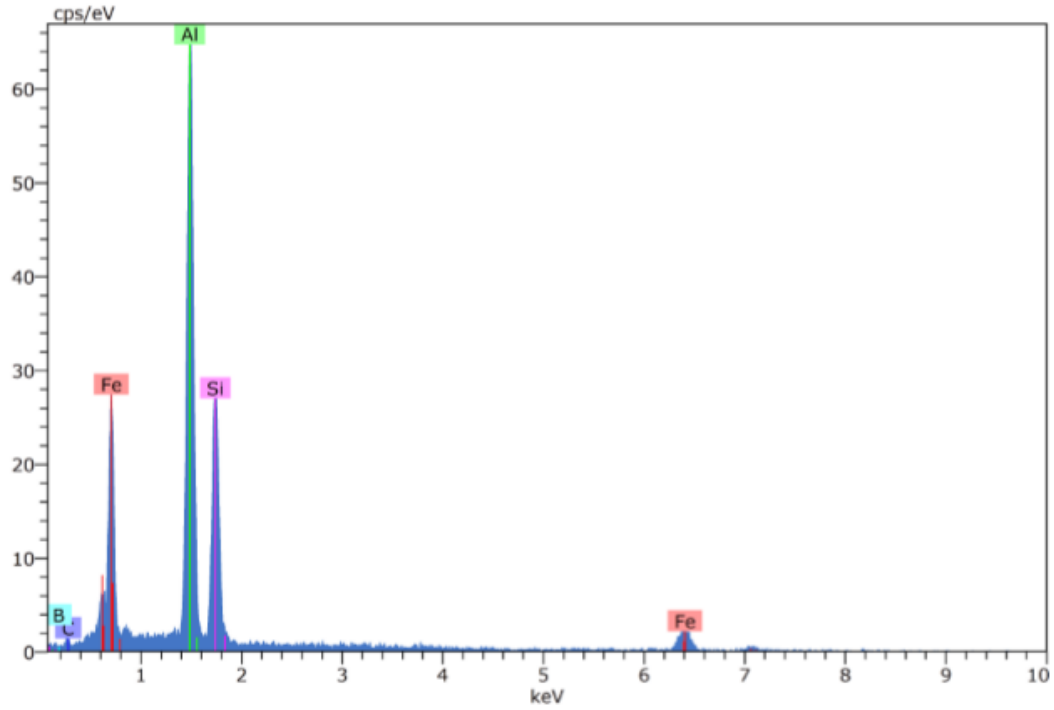
(1)


cps/eV
B
25
20
Al
15
10
5
C
Fe
Si
Fe
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
keV

(2)


cps/eV
C
120
100
80
60
40
20
Al
B
Fe
Si
Fe
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
keV

(3)

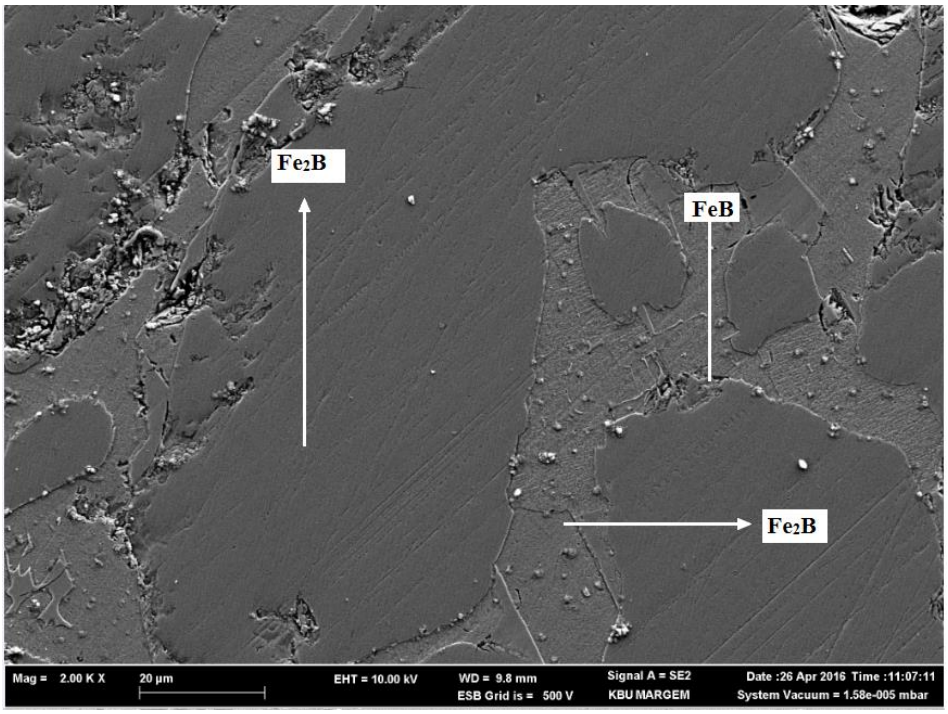


(4)

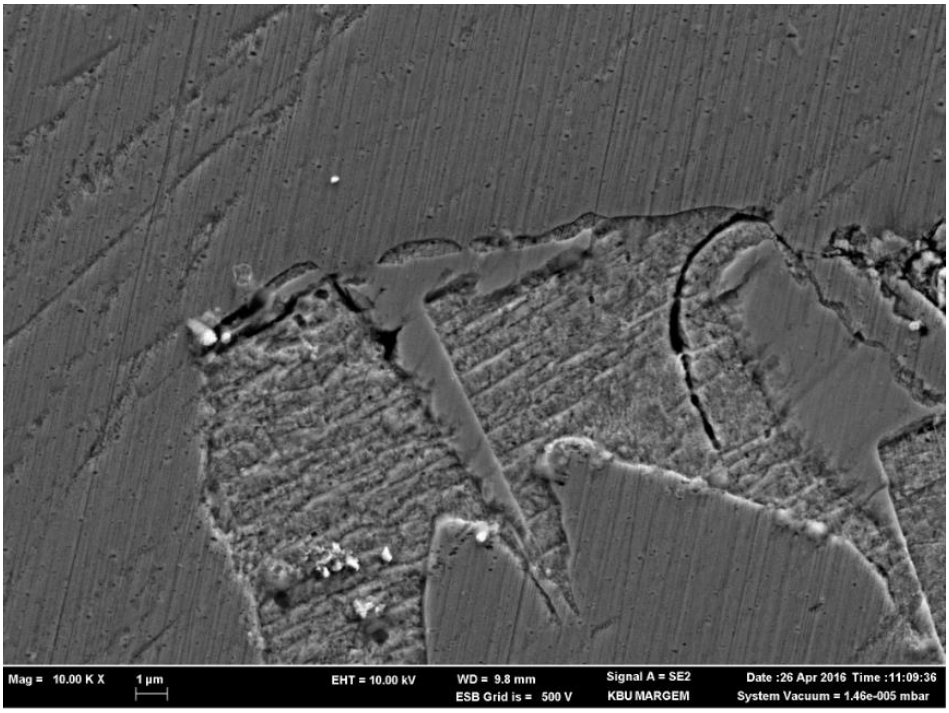
Şekil 28. 4.grup numuneler için 1-2-3-4 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri

Tablo 19. 1-2-3-4 bölgesel spektrumlara ait yüzdeler (ağırlıkça)

Mass Percent %					
Spectrum	B	C	Al	Si	Fe
1	6,67	30,90	0,59	60,25	1,58
2	80,87	12,17	6,38	0,02	0,55
3	4,68	90,19	1,99	0,35	2,79
4	8,89	2,59	28,92	18,77	40,83

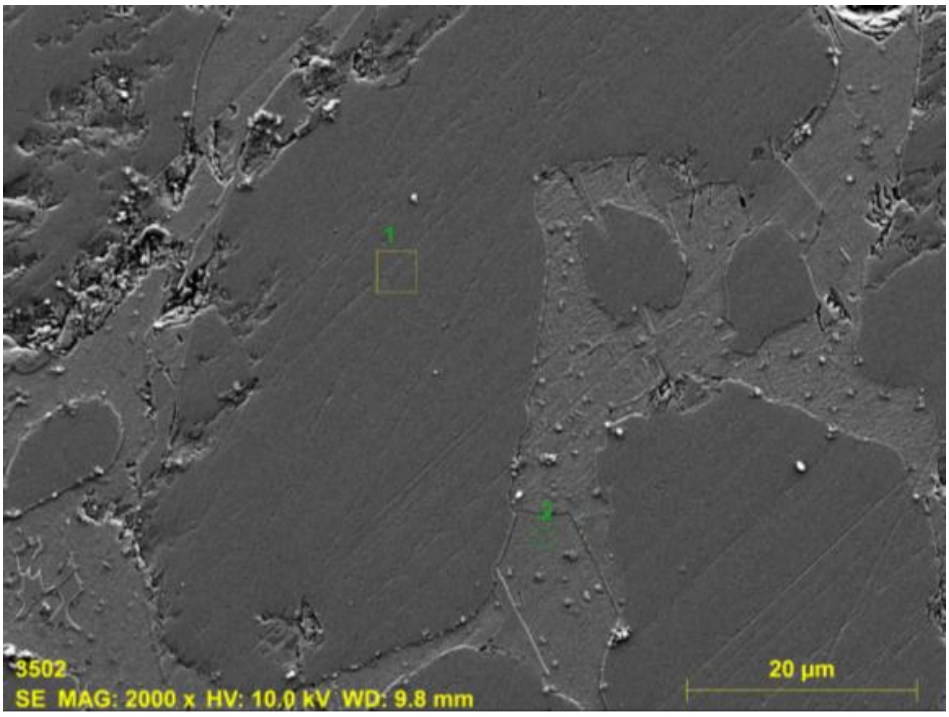


(a)

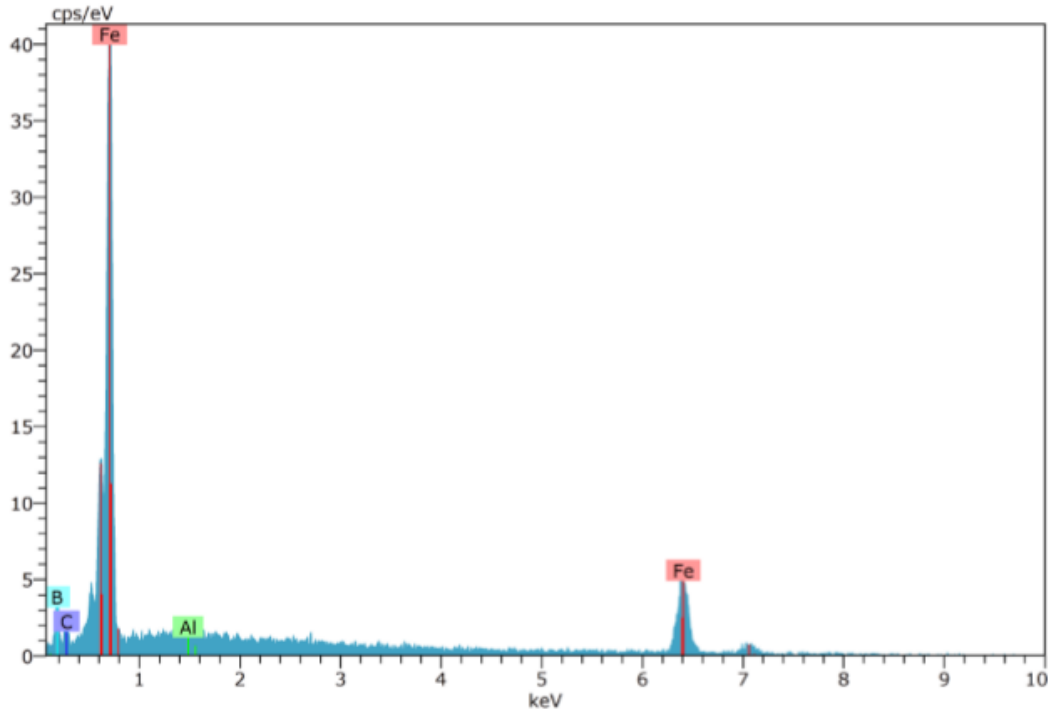


(b)

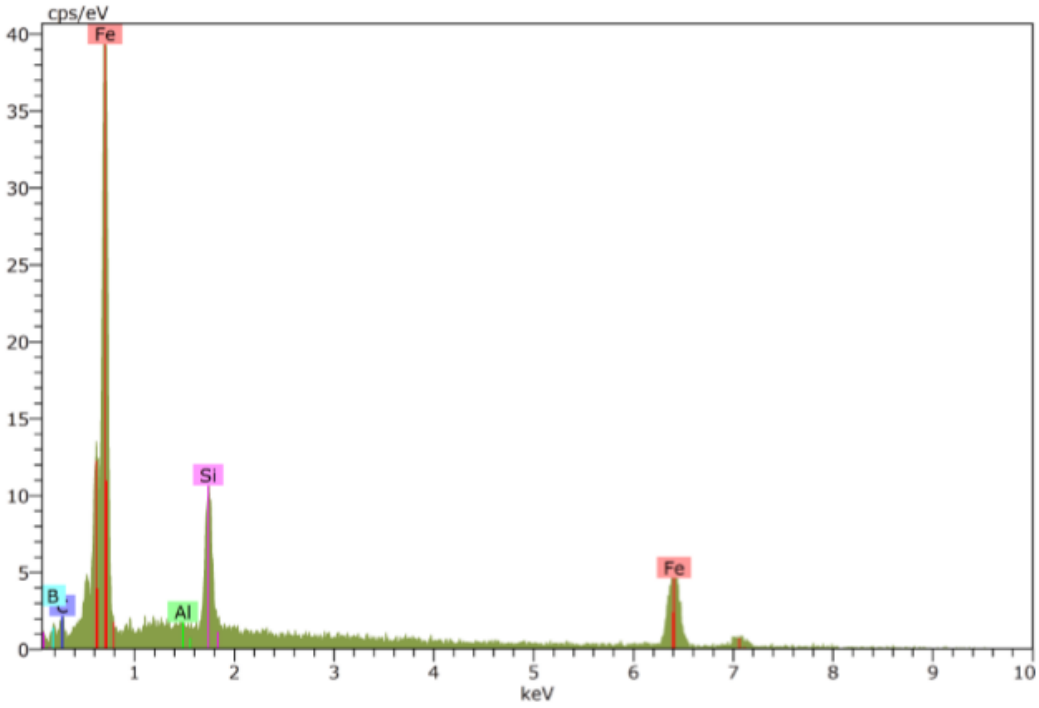
Şekil 29. 5. grup numunelere ait (a) 2.00 K X büyütmeli, (b) 10.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafları



Şekil 30. (a) (b) 5. grup numunelere ait 1-2 spektrumları için 2.00 K X büyütmeli SEM fotoğrafı



(1)



(2)

Şekil 31. 5. grup numuneler için 1-2 spektrumunda bölgesel EDX grafikleri

Tablo 20. 1-2 bölgesel spektrumlara ait yüzdeler (ağırlıkça)

Mass Percent %					
Spectrum	B	C	Al	Si	Fe
1	20,00	2,79	0,00	---	77,21
2	10,71	2,48	0,15	6,05	80,60

Şekil 17-18-20-21-23-24-26-27-29-30' da elde edilen SEM görüntülerinin litaratürle uyumlu olduğu görülmektedir(Eroğlu 2009). Numunelere ait EDX sonuç grafikleri ise Şekil 19-22-25-28-31' de verilmiştir. Grafiklerin yapılan incelemelerinde spektrumlar baz alınarak EDX analizinin yapıldığı görülmektedir. Bu analizler sonrasında elde edilen piklere bakıldığında bileşikleri oluşturan ana elementlerin deneylerin

başlangıcında da olduğu gibi Fe, B, C ve Al olduğu görülmektedir. Bunun yanında sistemde yabancı elementler ve eser miktardaki elementlerde bulunmaktadır. Tablo 16-17-18-19-20' de görüleceği üzere Şekil 19-22-25-28-31' de belirlenmiş olan spektrumlara ait %' lik değerler verilmektedir. Tabloların yapılan incelemesinde FeB ve Fe_2B' yi oluşturacak olan Fe ve B' nin yapıda bulunduğu anlaşılmaktadır.

4.3 X-Ray Fluorescence Analizi (XRF)

Yapılan X-Ray Fluorescence Analizi sonrasında elde edilen sonuçlar Tablo 21-22-23-24-25' te verilmiştir. Yapılan incelemede numunelerde ana hatlarıyla Fe, B, C ve Al elementlerinin bulunduğu bunların yanında ise eser miktarlardaki elementlerin olduğu görülmektedir. Tablolarda görüleceği gibi, sisteme beslenen Al miktarı arttıkça oluşan ferrobora geçen bor miktarı da artmaktadır. Bu durum alüminyum elementinin oksitli bileşiklerle alümina termik reaksiyon oluşturup sistemin sıcaklığını arttırması ve böylece bor oksitten bor geçişini arttırmasına bağlanmaktadır (Yücel vd. 1996). Ancak, bor geçişindeki artışla beraber bir miktar da alüminyum ferrobor bünyesine geçmektedir.

Tablo 21. 1.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF Analiz sonuçları

Component	Result	Unit
B	7,4857	mass %
C	0,4912	mass %
Si	0,0891	mass %
P	0,0098	mass %
Cr	0,0075	mass %
Mn	0,0237	mass %
Fe	kalan	mass %

Tablo 22. 2.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF Analiz sonuçları

Component	Result	Unit
B	8,7281	mass %
C	0,575	mass %
Al	1,121	mass %
P	0,012	mass %
Si	0,0145	mass %
Cr	0,0161	mass %
Mn	0,0596	mass %
Ni	0,0097	mass %
Fe	kalan	mass %

Tablo 23. 3.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF Analiz sonuçları

Component	Result	Unit
B	10,4962	mass %
C	0,5321	mass %
Al	1,3341	mass %
P	0,0151	mass %
Si	0,0067	mass %
Cr	0,0293	mass %
Mn	0,0836	mass %
Ni	0,0162	mass %
Fe	kalan	mass %

Tablo 24. 4.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF Analiz sonuçları

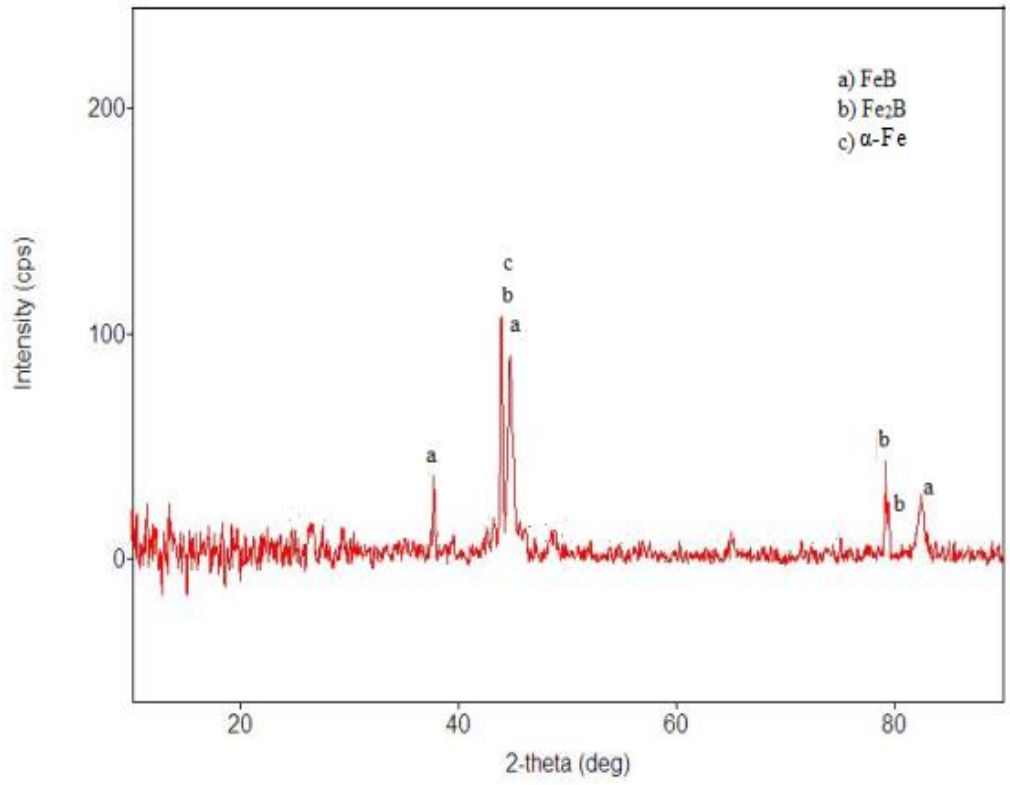
Component	Result	Unit
B	11,2306	mass %
C	0,5231	mass %
Al	1,6017	mass %
P	0,0238	mass %
Si	0,003	mass %
Cr	0,1646	mass %
Mn	0,0866	mass %
Ni	0,0136	mass %
Fe	kalan	mass %

Tablo 25. 5.grup deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin XRF Analiz sonuçları

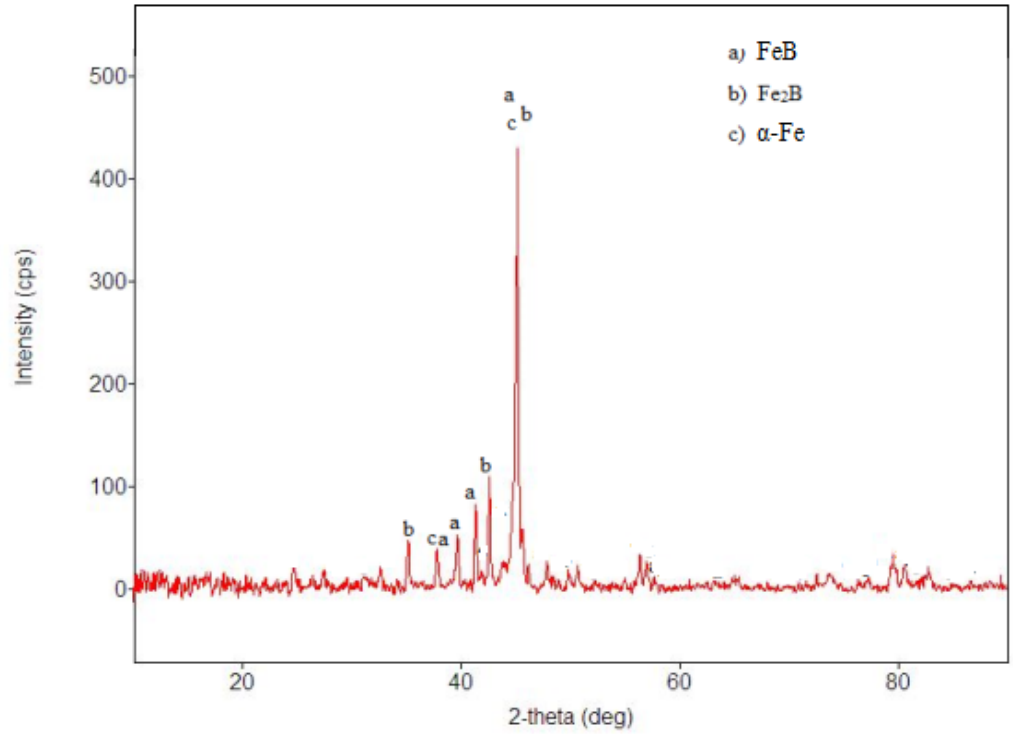
Component	Result	Unit
B	12,1448	mass %
C	0,5312	mass %
Al	1,8153	mass %
P	0,0314	mass %
Si	0,0036	mass %
Cr	0,0683	mass %
Mn	0,0702	mass %
Ni	0,013	mass %
Fe	kalan	mass %

4.4 X-Ray Difraktometre Analizi (XRD)

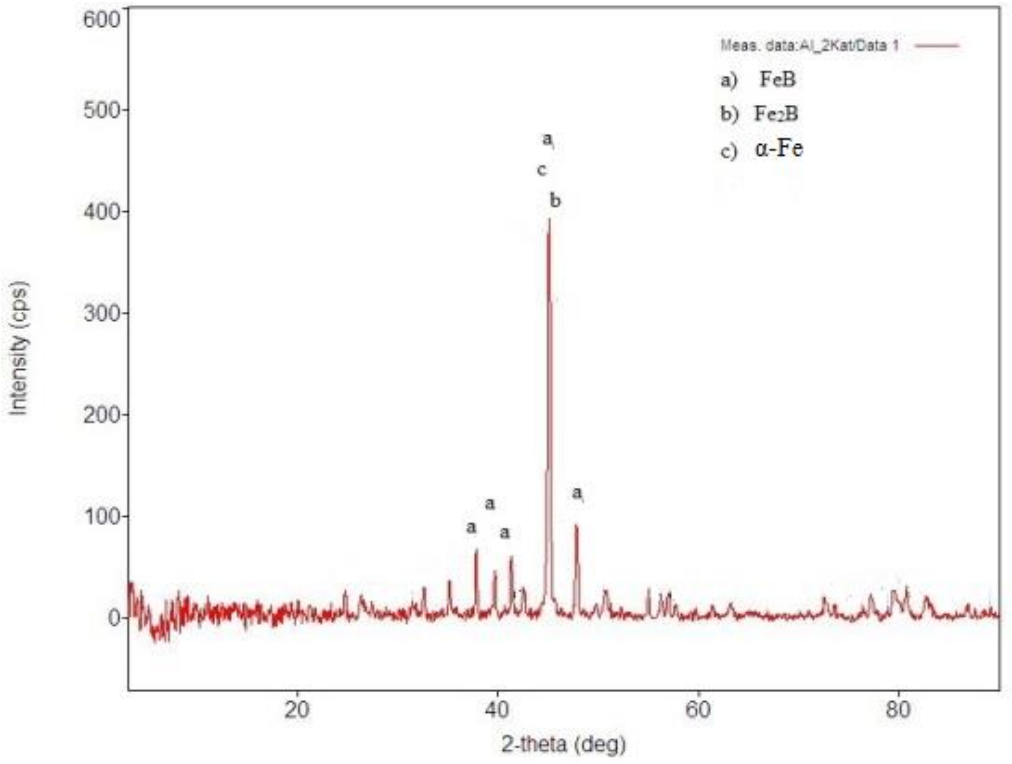
Şekil 32-33-34-35-36' da görüleceği gibi elde edilen numunelerde FeB, Fe_2B fazlarının oluştuğu yapılan XRD analizi sonrasında ve mikro yapı görüntülerinde açıkça görülmektedir. Yapılan X-Ray Difraktometre analizinden ve mikro yapı görüntülerinden FeB ve Fe_2B fazlarının oluştuğu ve ferrobor elde edildiği de yine net bir şekilde görülmektedir ayrıca yapılan EDX ve XRF analizlerinden elde edilen sonuçlarda üretilen numunelerde Fe, B, C ve Al elementlerinin yapıda bulunması bu durumu netleştirmektedir.



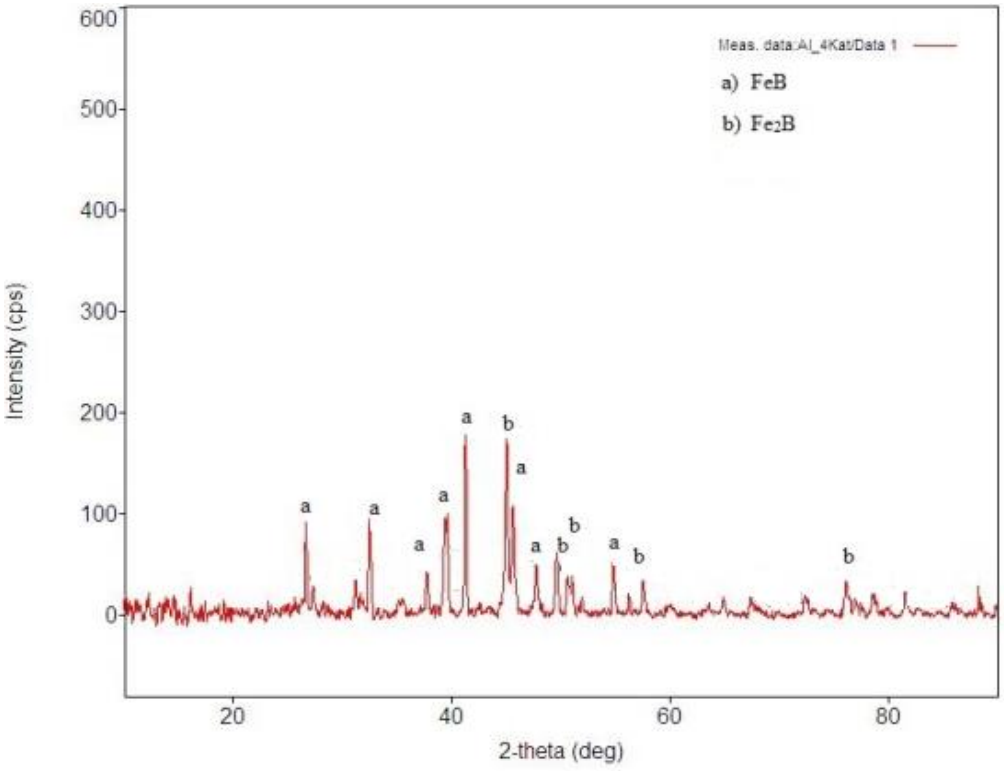
Şekil 32. 1. grup numunelerin XRD analiz sonuçları



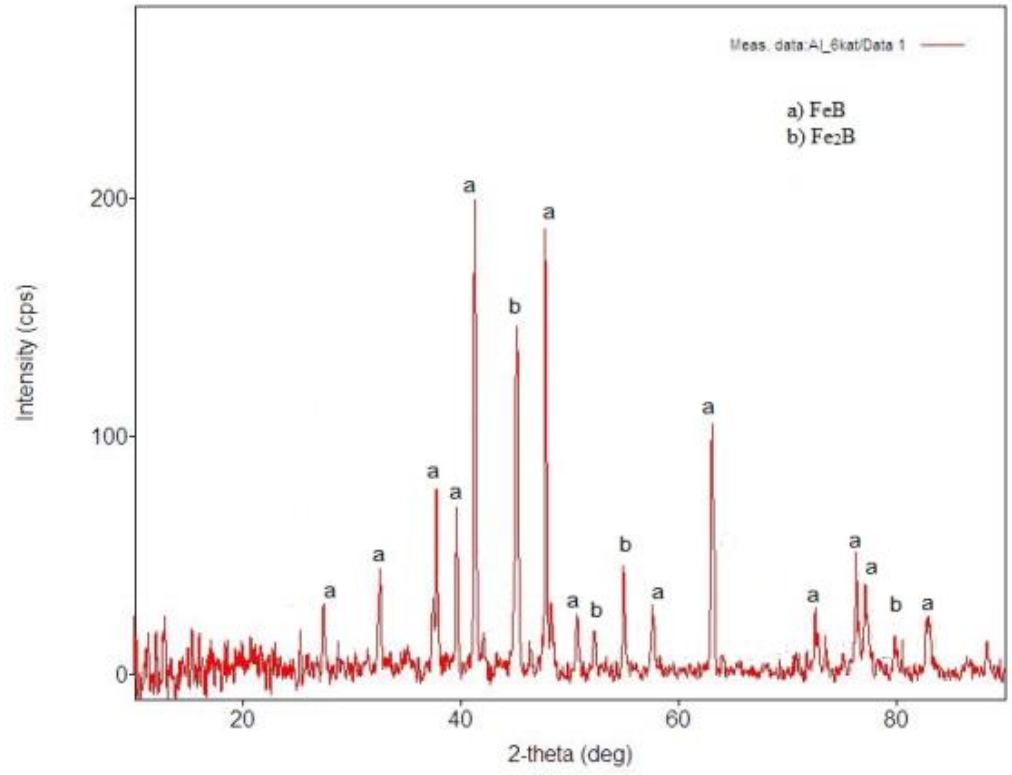
Şekil 33. 2. grup numunelerin XRD analiz sonuçları



Şekil 34. 3. grup numunelerin XRD analiz sonuçları



Şekil 35. 4. grup numunelerin XRD analiz sonuçları



Şekil 36. 5. grup numunelerin XRD analiz sonuçları

5. SONUÇ

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında karbotermik yöntemle ferrobor üretiminde sisteme eklenen alüminyum elementinin etkisi araştırılmış olup, yapılan 5 ayrı grup deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Sisteme dâhil edilen Al alüminatermik reaksiyon ile ark kararlığını arttırmıştır.
2. Sisteme eklenen Al alüminatermik reaksiyon ile sistem sıcaklığını olumlu yönde etkilemiş, bu sayede ferrobor düşük enerji ile üretilmiştir.
3. Deney sonuçlarında yapılan incelemelerde sisteme eklenen Al ferrobor (FeB ve Fe_2B) oluşumunu kolaylaştırıp, ferrobora geçen bor miktarını da arttırmıştır.
4. Sisteme eklenen Al artışıyla ferrobora geçen Al miktarında artış gözlenmiştir. Ancak bu artış ürün kalitesini bozacak derecede değildir.
5. Al' un sisteme dâhil edilmesi ile aşağıdaki reaksiyonlar oluşmuş ve Al Fe_2O_3, B_2O_3 ve FeO bileşiklerindeki oksitleri indirgeyerek Fe ve B' nin oksitsiz ikili bileşik kurarak FeB ve Fe_2B' yi oluşturmasını sağlamıştır.

   $B_2O_3 + 2Al \rightarrow 2B + Al_2O_3$

   $Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow 2Fe + Al_2O_3$

   $2\,FeO + 4/3Al \rightarrow 2\,Fe + 2/3\,Al2O3$

Yapılan çalışma sonucunda, üretilen ferroborun manyetik özelliklerinin incelenmesi çalışmanın devamı niteliğinde önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Bilgiç, M. ve Dayık. M. 2013. Borun Özellikleri Ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Türkiye.

Url-1; http://www.etimaden.gov.tr/ , Erişim Tarihi: 10/04/2015

Çalık, A. 2004. Makine ve Metalurji Sanayinde Bor Kullanımı. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Türkiye.

Önen, F. 2012. Bor Çelikleri. Türkiye.

Yücel, O. 1992. Karbotermik Ferrobor Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü/ Doktora Tezi. Türkiye.

Blumenthal, H. 1952. Rapid Analysis Determines Boron in Alloys, Journal of Metals, pp. 140-142.

Angın, M.H. 2003. Ferrobor Ön Fizibilite Etüdü. Eti Holding A.Ş., Türkiye.

Barin, İ. 1989. Thermochemical Data of Pure Substances, VCH Verlagsgesell schaft mbH.

Ullmanns, 1974. Encyklopaedie der Technischen Chemi, Bor and Ferrobor, Band 8, s. 644-675.

Bebbington, R.W. 1992. The Role of Ferroboron and Ferrotitanium in Steels: Production Metods, Quality Aspects and Addition Techniques, İnfacon 6. Proceedings of the 1st International Chromium Steels and Alloys Congress, Cape Town, Volum 2. 263-267.

Houdremont, E. 1956. Bor in Stahl, Handbuch der Sonderstahlkunde, Springer-Verlag. Berlin, s.1454-1465.

Werner, D.H. 1990. Bor und borlegierte Stahle, Verlag Stahleisen mbH.

Froes, F.H. and Carbonara, R., 1988. Applications of Rapid Solidification, Journal of Mrtals, pp. 20-27.

Schneider, J. and Pumpe, W. 1979. Metallische Glaser-Herstellung, Struktur and Physikalische Eigenschaften, Neue Hütte, 24. Jahrgang. Heft 10, s. 379-383.

Guangfei, S. and Chen, J. 1988. Thr Synthesis of Nd-Fe-Co-B by Reductiondiffusion and Its Magnetic Properties, J. Appl. Phys. 64 (10), pp. 5519-5521.

Susman, R.C. and Evans, L.G. 1986. Method of Producing Boron Allays, US Patent, No. 4572747.

Elyutin, V.P. and Pavlov, Y.A. 1961. Production of Ferroalloys-Electrometallurgy, Translated from Russian by the Israel Program for Scientific Translationd.

Elyutin, V.P. Pavlov, Y.A. Levin, B.E. 1957. Alekseev, E.M., Production of Ferroalloys, Chapter 9, Ferroboron,

Susman, R.C. and Evans, L.G. 1986. Method of Producing Boron Allays, US Patent, No. 4572747.

Sussman, R.C. and Evans, L.G. 1987. 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.

Singhal, S.C. 1986. Production of Ferroboron by the Silicon Reduction of Boric Acid, US Patent, No. 4602950.

Şahin S. ve Meriç C. 1999. Fe2B Tozlarının Üretimi ve Karakterizasyonu, Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı. Düzenleyen: Türk Toz Metalürjisi Derneği, s. 513-518, Türkiye.

Yüksel N. ve Şahin S. 2014. Effects of ferroboron and ferrochromium powder addition on abrasive wear resistance of Fe-based hardfacing coatings, , MP Materials Testing, Volume 56, pp: 694-699.
Hahn, R. and Retelsdorf, H.J. 1985. Borlegierungen für amorphe Legierungen, Metall, 39. Jahrgang, Heft 12, s:1148-1150.
Hamada, T. 1985. Methods of Producing and Using Amorphous Mother Alloy, US Patent, No. 4505745.
Seki, K. and Hiromoto, T. 1986. Production of Ferro-Boron by Electric Furnace, Infacon 86 Proceedings, pp. 309-320.
Hildebrand, C.E. 1984. Multistage Process for Preparing Ferroboron, E Patent, No 143947.
Url–2; http://www.taskomuru.gov.tr/ , Erişim Tarihi: 27/03/2016
Url-3; http://www.etialuminyum.com/ , Erişim Tarihi: 28/03/2016
Url-4; http://muh.bartin.edu.tr/, Erişim Tarihi: 14/06/2016
Url-5; http://merlab.metu.edu.tr/, Erişim Tarihi: 13/06/2016
Url-6; http://tr.vikipedia.org/, Erişim Tarihi: 16/06/2016
Url-7; http:// met.yildiz.edu.tr/login/sys/admin/announcement/img/2015-2016%20G%C3%BCz%20Metalurji%20Laboratuar%C4%B1%20Deney%20F%C3%B6y%C3%BC.pdf/, Erişim Tarihi: 15/06/2016
Yücel O. Çınar F. Addemir O. Tekin A. 1996. The Preparation of Ferroboron And Ferrovanadium By Aluminothermic Reduction, High Temperature Materials And Processes 15, 1-2, 103.
Eroğlu M., 2009. Boride coatings on stell using shielded metal arc welding electrode: Microstructure and hardness.
The Economics of Boron. 1993
The Economics of Boron. 1995
The Economics of Boron. 1999
Donald E., 1998. Garreth, Borates, Handbook of deposits, processing, proparties and use.
Dyason G. J., See J. B., 1981. Burden Movement in Submerged-Arc Ferromanganese Furnaces Metallurgical Transactions B, Vol. 12 B, pp. 149-160
Bogdandy L., Engell H.J., 1967. Die Reduktion der Eisenerze Springer- Verlag
Gupta C.K., Mehra O.K., 1980. Studies on the Preparation of Some Steel Additives. Steel İndia. Vol. 3, No.1, pp. 17-19.
Yücel O., Çınar F., Addemir O., 1992. Production of Ferrevanadium from Vanadium sludge, İnternational Conference on the Recycling of Metals, ASM,

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Yunus ÖZ

Doğum Yeri: Akşehir

Doğum Tarihi: 29.11.1985

Yabancı Dili: İngilizce

Adres : Ataşehir Mah. Hacı saadettin Efendi Bulv. No:60
Merkez ELAZIĞ

Tel : 0507 922 17 57

E-posta: oz_yunus23@hotmail.com

Eğitim Durumu(Kurum ve Yıl)

Lise: Akşehir Selçuklu Lisesi - 2002

Lisans: Fırat Üniversitesi - 2008

Yüksek Lisans: Çankırı Karatekin Üniversitesi – devam ediyor