



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Graduate School of Natural and
Applied Sciences

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ÜRETİM METALURJİSİ BİLİM DALI

**DEMİR-ÇELİK ÜRETİMİNDE BOR CEVHERLERİNİN KULLANIMI VE
CÜRUF A ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**
(THE USE OF BORON ORE IN IRON-STEEL PRODUCTION AND INVESTIGATION
OF ITS EFFECTS ON SLAG)

DOKTORA

Serap NALBANTOPLU KARAÖZ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi M. Engin KOCADAĞIŞTAN

Erzurum
Şubat, 2022

İÇİNDEKİLER

Açıklamalı [Dr. 1]: İçindekiler dizini otomatik olarak eklenmelidir.

İÇİNDEKİLER.....	v
TABLOLAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
GİRİŞ	1
Araştırmanın Amacı.....	111
KURAMSAL TEMELLER VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR	122
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi.....	15
Tez Öneri Konusunun Enstitü ve Ana Bilim Dalı Öncelikli Araştırma Alanlarıyla İlişkisi.....	15
MATERYAL VE METOD	16
İş-Zaman Tablosu	18
KAYNAKÇA	19
EKLER	21

TABLÖLAR DİZİNİ

Açıklamalı [Dr. 2]: Tablolar dizini otomatik olarak eklenmelidir.

Tablo 1. <i>Önemli demir cevheri mineralleri</i>	1
Tablo 2. <i>Önemli demir üreticilerin ürettikleri cevher özellikleri</i>	2
Tablo 3. <i>Türkiye demir-çelik tesislerinin toplam kapasiteleri</i>	2
Tablo 4. <i>Türkiye sıvı çelik üretimi</i>	2
Tablo 5. <i>Erdemir Tesislerinde demir cevheri şarj harmanlarında istenen kimyasal özellikler</i> ...	3
Tablo 6. <i>Erdemir tesislerinde kullanılan yerli demir cevherlerinin teknolojik test özellikleri</i> ...	3
Tablo 7. <i>Yüksek fırınlarda kullanılan parça halindeki demir cevherlerinin standartları (Kimyasal ve fiziksel özellikler-ASTM)</i>	8
Tablo 8. <i>Toz halindeki demir cevheri standartları (Kimyasal ve fiziksel özellikler-ASTM)</i>	8
Tablo 9. <i>1 ton erimiş metalin cürufi içeriği</i>	9
Tablo 10. <i>Bor mineralleri ve özellikleri</i>	10
Tablo 11. <i>Isıl işlemlerde kullanılacak parametreler</i>	17

ŞEKİLLER DİZİNİ

Açıklamalı [Dr. 3]: Şekiller dizini otomatik olarak eklenmelidir.

<i>Şekil 1. Yüksek Fırın</i>	5
------------------------------------	---

GİRİŞ

Açıklamalı [Dr. 4]: Birinci düzey başlık biçimine dikkat ediniz. Stil galerisinden Başlık 1 seçilmelidir.

Demir-çelik sektörü, demir cevherlerinin ya da hurdalarının indirgenmesi yoluyla demir elde edilmesi ve sonrasında demirdeki safsızlıkların azaltılması yoluyla çelik üretilmesini kapsamaktadır. Demir ve çelik metal malzemeler arasında en fazla kullanılanlarıdır. Sektörünün temel hammaddesi demir cevheridir ve en çok tüketilen mineraller; hematit (Fe_2O_3), götit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), manyetit (Fe_3O_4) ve limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)'tir (Tablo 1). Bu sektörde kullanılan demir cevherlerinin karışım tenörlerinin minimum %57 Fe içerikli olması istenmektedir. Diğer bileşikler ise sülfür, sülfat ve karbonattan oluşan bileşiklerdir. Bileşik halindeki cevherler ön zenginleştirme işlemleri sonrasında yüksek fırınlarda ve diğer tesislerde kullanılmaktadırlar (Coşar, Ş., 2006).

Tablo 1. Önemli demir cevheri mineralleri. [DPT]

Mineral	Kimyasal Formül	Max. Fe Tenörü(%)
Manyetit	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	72,40
Hematit	Fe_2O_3	69,64
Götit	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	62,69
Limonit	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	62,30
Siderit	FeCO_3	48,00

Bu çalışmada kullanılacak olan Hematit (Fe_2O_3) cevherinin kristal sistemi Trigonaldir, Mohs sertlik skalasında 5 ila 6 arasında bir sertliğe sahip olup özgül ağırlığı $4\text{-}5 \text{ g/cm}^3$ aralığındadır. Rengi kırmızımsı kahve veya kırmızıdır. Demir mineralleri arasında en çok bulunanıdır. Paramanyetik özelliği olan cevher saf olduğunda % 69,94 oranında Fe ve % 30,06 oranında O_2 ihtiva eder. (Coşar, Ş. 2006.). Yüksek fırınlarda kullanılacak cevherlerin kalitesi birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlileri cevherin bol ve kolay bulunabilmesi, kullanılacak fırın tipleridir. Çoğunlukla cevherin Fe içeriğinin yüksek olması, Si, S, alkaliler, Ti, P ve diğer maddelere ait safsızlıkların kabul edilebilir sınırlarda olması gerekmektedir (Coşar, Ş. 2006.). Günümüzde dünya genelinde demir üretimi yapan kuruluşların elde ettikleri cevher özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Önemli demir üreticilerin ürettikleri cevher özellikleri.[DPT]

Üretici	Cevher	% Fe	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% S	% P
Hamersley	Parça	64	5	2	0,05	0,06
	Toz				0,06	0,07
Mt Newman	Parça	64	5	2	0,06	0,07
	Toz	62	7	3		
Goldsworthy	Parça	64	5	2	0,04	0,06
	Toz	62	7,5	2,5	0,04	0,07
Robe River	Toz	56,5	6	3	0,05	0,07
Savage River	Pelet	67,5	3	0,5	0,05	0,03
CVR, İtabiria	Parça	66	5		0,08	0,03
	Sinter	64,5	6	1,5	0,07	0,05
CVR, Carajas	Parça	66,5	1	1,5	0,02	0,065
	Toz	65	1,7	1,7	0,02	0,06
Nibrasco	Pelet	64,5	3,5	1	0,03	0,04
MBR	Parça	66	1	1,5	0,05	0,01
	Sinter Toz		1,5		0,05	0,01
	Pelet Toz	68	1,2	1,5	0,05	1,01
İscor	Parça	66	4,5	2,5	0,025	0,07
	Toz	65	6	2,5	0,055	0,07

Türkiye’de Ereğli ve İskenderun ilçeleri ile Karabük ilinde faaliyet gösteren üç tane entegre demir cevheri tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde demir cevheri kullanılmakta olup, ark ocaklarında da ülke dışından temin edilen hurda vasıflı demir kullanılmaktadırlar. 19.800.000 ton toplam sıvı çelik üretiminin yaklaşık % 71,3’ü ark ocaklarında üretilmektedir. Türkiye’deki tesislerin toplam kapasiteleri ve sıvı çelik üretim miktarları Tablo 3 ve 4’te gösterilmiştir (Coşar, Ş. 2006.).

Tablo 3. Türkiye demir-çelik tesislerinin toplam kapasiteleri

Tesis	Kapasite
Kardemir	700.000
İsdemir	2.200.000
Erdemir	2.900.000
TOPLAM ENTEGRE TESİSLER	5.800.000
ARK OCAKLARI	14.100.000
GENEL TOPLAM	19.900.000

Tablo 4. Türkiye sıvı çelik üretimi

Tesis	1996	1997	1998	1999*
Kardemir	718.000	724.000	660.000	571.000
İsdemir	1.848.000	1.921.000	1.951.000	1.714.000
Erdemir	2.459.000	2.711.000	2.545.000	2.385.000
Ark ocakları	8.337.000	8.918.000	8.992.000	8.453.000
Toplam	13.362.000	14.274.000	14.148.000	13.124.000

*11 aylık üretim miktarı

Erdemir işletmelerinde kullanılan demir cevherlerinin teknolojik test ve kimyasal özellikleri Tablo 5 ve 6’da verilmiştir (Coşar, Ş. 2006.).

Tablo 5. Erdemir Tesislerinde demir cevheri şarj harmanlarında istenen kimyasal özellikler (Divriği Madenleri, 2002)

Element	Doğrudan Şarjlık (%)	Sinterlik (%)
Fe	64	62
SiO ₂ (Max)	5	5
Al ₂ O ₃ (Max)	1	1,5
CaO+MgO (Max)	1	1
S (Max)	0,02	0,02
K ₂ O+Na ₂ O (Max)	0,10	0,10
As (Max)	0,01	0,01
Mn	1,5	5
Cu (Max)	0,01	0,01
P (Max)	0,06	0,06
Zn (Max)	0,01	0,01
Cr (Max)	0,05	0,05
Ni (Max)	0,01	0,01
Pb (Max)	0,01	0,01

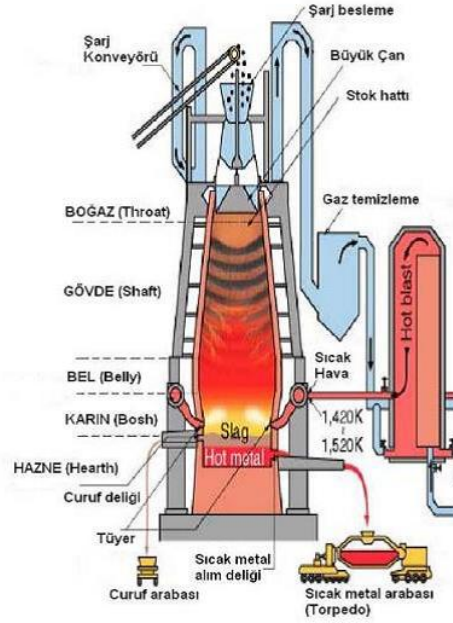
Tablo 6. Erdemir tesislerinde kullanılan yerli demir cevherlerinin teknolojik test özellikleri. (Divriği Madenleri, 2002)

OCAK ADI	CEVHERİN MİNEROLOJİK YAPISI	İNDİRGENME DEĞERİ%	POROZİTE	CEVHERİN YOĞUNLUĞU		ASTM Tambur Test Sonuçları (%)		
				Gerçek Yoğunluk	Görünür Yoğunluk	Aşınma veya Mukavemet İndeksi (+6,3mm)	+30 mesh	-30 mesh
STANDART		ISO DP 7992	ASTM C 373-372			ASTM 279	ASTM E 276-389	
ALACAHAN	Hematit+Spekularit	94	17.00	3.80	3.10	83.32	6.30	10.38
ÇETİNKAYA	Hematit	88	26.70	4.26	3.12	85.38	5.22	9.40
OTLUKİLİSE	Hematit+Limonit	92	33.00	3.95	2.70	79.71	7.42	12.87
DEVECİ	Hematit	86	24.00	3.55	2.68	76.62	7.48	15.90
MENTEŞ	Hematit	100	23.89	3.49	2.67	83.36	7.26	9.38
BİZMİŞEN	Hematit+Manyetit	82	20.31	4.27	3.40	83.71	6.27	10.02
ŞAMLI	Manyetit	54	4.88	4.58	4.36	84.24	6.76	9.00

Çelik üretim yöntemleri 1900’lü yılların sonlarına doğru başlayan sanayi üretimiyle beraber gelişme göstermiştir. Modern yöntemler Bessemer Prosesini temel almakta ve bu proses demirde mevcut olan C miktarını azaltmak için Oksijeni daha verimli bir şekilde kullanma temellidir. Genel olarak çelik üretimi 6 evrede tanımlanabilir; “demir üretimi aşaması” birinci adım olup bu aşamada kok kömürü, kireç ve demir cevheri ergitme fırınlarına konulmakta ve ortaya çıkan dökme demir yaklaşık %4 ila 4,5 oranında C ve diğer maddeleri içermektedir. Bu durum yapıyı gevrek yapmaktadır. Daha sonra “birincil çelik üretimi”

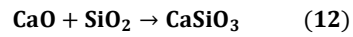
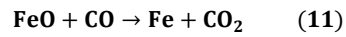
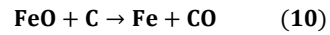
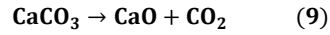
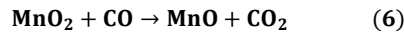
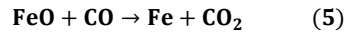
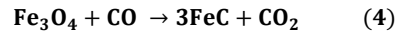
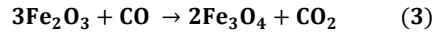
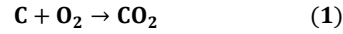
aşamasında; BOS yönteminde hurda çelikler konvertörlerde dökme demire karıştırılmakta ve yüksek sıcaklık uygulanarak içeriğindeki oksijen metalden dışarı atılmaktadır. Böylece C oranı %0 ila 1,5 arasına düşürülmektedir. EAF yönteminde ise 1650 °C'ye yükseltilecek sıcaklıklarda elektrik ark fırınlarına beslenen hurda çelikler ergitilmekte ve yüksek kaliteli çeliğe dönüştürülmektedir. İkincil çelik üretimi aşamasında birincil çelik üretimi aşamasında elde edilen çeliğin istenilen kimyasal kompozisyona ulaştırılması sağlanmaktadır. Burada sıcaklık ve üretim ortamı değişiklikleriyle yapılarak bir kısım elementlerin eklenmesi ya da çıkartılmasıyla işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler; karıştırma, potada enjeksiyon veya ergitme, gaz alma ve BOF (Bazik Oksijen Fırını) olabilmektedir. Sürekli döküm aşamasında ergiyik durumdaki metalin kalıplar vasıtasıyla etrafının soğutulmasıyla kabuk oluşumu şeklinde katılaşması sağlanmaktadır. Kabuk oluşumu gerçekleşince, erimiş metal kılavuz merdanelerden geçirilerek tamamen soğutulmakta ve katılaştırılmaktadır. Daha sonra elde edilen katı malzeme istenilen uzunluklarda kesilmekte ve talep durumuna göre slab, plaka, blom, profil ve ince mamul şeklinde üretilmektedir. Bir sonraki aşama olan birincil şekil vermede çoğunlukla haddeleme yöntemiyle malzemelere şekil verilmektedir. Bu sayede döküm sırasında oluşan hatalar azaltılmakta ve istenilen şekil ve yüzey kalitesi elde edilebilmektedir. İkincil şekil verme işlemleri için üretim, fabrikasyon ve son işlem aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada son olarak çeliklere son şeklini ve istenen özellikleri vermek amacıyla (şekil verme, talaşlı işlem, birleştirme, kaplama ve ısıtım işlem gibi) kullanılmaktadır (<https://www.thebalance.com/steel-production-2340173>).

İçerisine kireçtaşı ve kok karıştırılarak demir içeren malzemelerin ergitilmesi işlemlerinde kullanılan, 30-90 m yüksekliğe sahip olabilen dikey konumlu, içinde çeşitli reaksiyonlar sonucu CO ve C oluşması ve oluşan bu gazların cevherleri redükleyerek bu arada oluşan ısı vasıtasıyla da demir cevherlerinin ergitildiği fırınlar “yüksek fırın” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1) (Coşar, Ş. 2006)



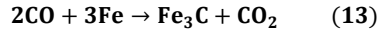
Şekil 1. Yüksek Fırın

Yüksek fırında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki 1-12. denklemlerle açıklanabilir.

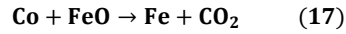
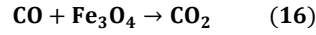
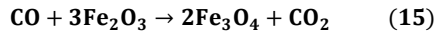


Demiroksit formunda fırınlara beslenen hammadde, içeride oluşan yüksek sıcaklık vasıtasıyla O_2 ve Fe şeklinde ayrışmakta, oksijen C ile birleşerek CO ve CO_2 gazı şeklinde yükselmektedir. Demir ise erimiş şekilde alt kısımda toplanmaktadır. Yüksek fırına beslenen

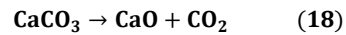
cevherdeki O₂'nin bütününün ayrışabilmesi için, fırın ocağına ihtiyaç duyulandan fazla miktarlarda karbon eklenmektedir. Böylece geriye kalan bir miktar karbon da erimiş haldeki madene karışmaktadır. Alt kısımda bulunan hava püskürtme deliklerinden fırın içine giren sıcak hava vasıtasıyla, karbonun yanması sağlanmakta ve bu şekilde oluşan ısı aşağı inene dek indirgeme ile Fe ve demir karbürü (Fe₃C) dönüşen hammaddeyi ve hammaddeden ayrılarak katı malzemeye birleşen kalsiyum silikası (2CaO.SiO₂) eriterek sıvı forma getirmektedir. Erimenin meydana geldiği bu bölüme “Ergime Sahası” denilmektedir. Buradaki sıcaklık yaklaşık 1700 °C civarında olmaktadır. İndirgeme sahasında ayrılan cevher ile meydana gelen demirin bir bölümü bu safhada yükselen CO gazı ile birleşmekte (denklem 13);



ve demir karbürü (Fe₃C) dönüşerek CO gazı ayrılmaktadır. Demirin C ile birleşmesinden ötürü buraya da “Karbon Alma Sahası” adı verilmektedir. B sahanın ortalama sıcaklık değeri 1200°C’dir. Daha sonra yukarıdan aşağıya doğru ısınarak “Redüksiyon Sahası”nda cevher reaksiyona girmektedir. Bu bölgedeki ısı derecesi 500–900°C olup reaksiyonu aşağıdaki 14, 15, 16 ve 17 numaralı denklemlerle ifade edilebilmektedir.

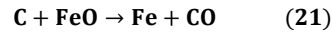
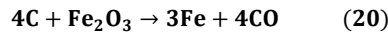
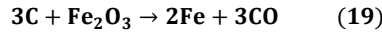


İndirgeme sahasında CO vasıtası ile cevherden ayrılan Fe katı halde bulunmaktadır ve C alma sahasından geçerek ergime safhasına girdikten sonra buradaki yüksek sıcaklık sayesinde akışkan bir duruma gelmektedir. Yukarıda verilen denklemlerde ayrılmış halde bulunan CO₂ gazı, üst kısımdaki diğer gazların arasından geçerken yeniden mevcut karbonu bünyesine alarak, CO haline dönüşür. Bu sırada ocağa beslenen kireçtaşı bu bölümün ısısı ile yanmış kireç (CaO) ve CO₂ gazlarına ayrılmaktadır (denklem 18). Aynı zamanda cevherde bulunan SiO₂, bu kısımda ayrılmış olan demirle serbest kalarak aşağı inmekte CaO ile birleşmektedir.



Sıcaklığı 200 ila 500°C civarındaki “Isınma Sahası”nda, aşağıdan sıcak olarak yükselen CO, CO₂ ve N gazlarıyla ocağa yüklenen kömür, cevher ve katı malzemeyle beraber bir ısınma devresi geçirmektedir. (Yeniçeri, M., 1991, Coşar, Ş. 2006).

Yüksek fırınlarda demir cevherlerinin redüksiyonu direkt ve indirekt olmak üzere iki şekilde olur. Direkt redüksiyon, fırının durak bölümünde oluşan kızgın C ile demiroksitin birleşmesi şeklinde açıklanabilir. Bu durum aşağıdaki 19,20 ve 21 numaralı denklemlerle açıklanabilir.



İndirekt Redüksiyon ise alt taraftan yukarıya doğru yükselen CO gazının etkisi ile gerçekleşmektedir. İndirekt redüksiyonda direkt redüksiyona nazaran yakıt tüketimi daha az olduğundan imkanlar ölçüsünde CO gazının redüksiyonu ile çalışılması gerekmektedir. Direkt redüksiyonda daha az ısıya ihtiyaç vardır. Böylece şarj için kullanılan kok kömürü oranı da nispeten daha az olmaktadır. Yüksek fırınlardan çıkmakta olan gaz içerisinde bulunan CO miktarı ne kadar az olursa fırınlar da o derece iyi çalışacaktır. Burada CO redüksiyonunda kullanılan yakıt miktarlarının az olması sebebiyle CO’nun çoğunluğunun redüksiyon vazifesi gördüğü manası çıkmaktadır (Yeniçeri, M., 1991).

Yüksek fırın işletmeciliğinde üretim hızı ve verimi, ürün kalitesi ile ekonomiklik gibi özellikler, kullanılan cevher ve diğer maddelerle yakın bir ilişki içerisinde. Demir cevherlerin ve diğer maddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre demir cevherlerinin yüksek fırınlarda kullanılabilir olmaları belirlenmektedir. (Yeniçeri, M., 1991). ASTM Standartlarına göre bu konuda istenen özellikler aşağıda Tablo 7 ve 8’de verilmiştir. Bunların yanında cevherlerin serbest nem kaybı 105 °C için en fazla % 4, kızdırma kayıpları ise 1100°C için maksimum % 3’ü aşmamalıdır. Yüksek fırınlara beslenecek malzemelerin tane büyüklükleri de kok kömürü tüketim miktarının azaltılmasında ve verimin yükseltilmesinde çok önemlidir. Ebatların belirli boyuttan daha büyük olması durumunda cevherin tamamında redüklenme olmayacağından curufa geçecektir ve bu nedenle curuf içindeki demir kayıpları artacaktır. Demir cevherleri için optimum tane büyüklüğü üst sınır için; 20–50 mm, alt sınır için ise; 5–10 mm olarak kabul edilmektedir (Coşar, Ş. 2006).

Tablo 7. Yüksek fırınlarda kullanılan parça halindeki demir cevherlerinin standartları (Kimyasal ve fiziksel özellikler- ASTM)

Element/bileşik	Kimyasal Formülü	İçeriği (%)
Demir	Fe	63 (min)
Demir Oksit	FeO	3 (max)
Silika	SiO ₂	3,5 (max)
Alümina	Al ₂ O ₃	1,50 (max)
Kalsiyum Oksit	CaO	1 (max)
Magnezyum Oksit	MgO	1 (max)
Fosfor	P	0,05 (max)
Kükürt	S	0,02 (max)
Arsenik	As	0,02 (max)
Alkali	K ₂ O+Na ₂ O	0,01 (max)
Krom	Cr	0,05 (max)
Çinko	Zn	0,02 (max)
Kurşun	Pb	0,02 (max)
Bakır	Cu	0,02 (max)
Boyut aralığı (mm)		Miktar (%)
+ 31,75 elek üstü		5 (max)
- 31,75 arası		85 (min)
- 6,35 elek altı		10 (max)

Tablo 8. Toz halindeki demir cevheri standartları (Kimyasal ve fiziksel özellikler- ASTM)

Element/bileşik	Kimyasal Formülü	İçerik (%)
Demir	Fe	60 (min)
Demir Oksit	FeO	4 (max)
Silika	SiO ₂	5 (max)
Alümina	Al ₂ O ₃	1,50 (max)
Kalsiyum Oksit	CaO	1 (max)
Magnezyum Oksit	MgO	1 (max)
Fosfor	P	0,05 (max)
Kükürt	S	0,02 (max)
Arsenik	As	0,02 (max)
Alkali	K ₂ O+Na ₂ O	0,15 (max)
Krom	Cr	0,05 (max)
Çinko	Zn	0,02 (max)
Kurşun	Pb	0,02 (max)
Bakır	Cu	0,02 (max)
Boyut aralığı (mm)		Miktar (%)
+ 9,52 (3/8)'' elek üstü miktarı		5 (max)
- 9,52 + 0,150 arası		80 (min)
- 0,150 elek altı miktarı		15 (max)

Cüruf, metal içeren cevherlerin ya da metallerin, eritilme işlemleri sırasında ortaya çıkan ve ergimiş malzemelere (metal) göre hafif olan silikatlar ve oksitlerin bir bileşimi olan ve erimiş metallerden daha hafif olmalarından dolayı üst kısımda toplanan ve genellikle yan ürün

şeklinde tanımlanan maddelerdir (Ünal vd., 2014). Pota metalürjisinde ton çelik başına ortalama 10-30 Kg cüruf oluşmaktadır. YF Cürufları; demir cevheri, kok kömürü, kireçtaşı gibi malzemelerin 1450 ila 1550°C sıcaklık aralıklarında redüklenmesiyle oluşmaktadır. Oluşan cürufların genel anlamda kimyasal bileşimleri, hammaddelerin beslenmesine ve ergitme işlemlerine ve miktarları da ergitmede kullanılan diğer malzemelere göre değişmektedir. 1 ton erimiş metalden ortalama olarak 200 ila 600 kg arasında bir cüruf elde edilebilmektedir. Ortaya çıkan bu cürufun içeriği aşağıdaki Tablo 9’da verilmiştir (Reuter etc., 2004).

Tablo 9. 1 ton erimiş metalin cüruf içeriği

Cüruf içeriği	FeO	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	S
%	0,5-0,8	35-42	5-40	8-9	8-15	3-1	0,7-1,5

YFC düşük oranlarda demir ihtiva etmekte, bünyesinde bulunan demirin ise üretimde geri kazanılması önemsizdir. Bu nedenle cüruflarda demir ve çelik üretimi dışında metallerin geri kazanımı işlemleri de yapılmaktadır (Öcal, 2014).

Bor cevheri, elementler arasında 51. sırada bulunur ve genel anlamı ile boratlar ve borosilikatlar olarak ifade edilir. Doğada serbest halde bulunmaz ve daima oksijene bağlı olarak bulunmaktadır (Helvacı, C., 2015). Bor cevherleri özellikle teknolojik gelişmelere paralel olarak çeşitli endüstri dallarında çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Bor cevherleri, yapılarında farklı oranlarda B₂O₃ içeren doğal bileşikler olup bünyelerindeki B₂O₃ ve H₂O (kristal su) yüzdelere göre değer kazanır ve bu doğrultuda kullanım alanları bulurlar (Tablo 10). (İpekoğlu and Polat, 1987; Çelik vd. 1994; Tunç vd. 1997; Şener vd. 2000). Bor minerallerinin doğada birçok türü vardır ve bor endüstrisi bakımından en önemli olanları Boraks, Koleanit, Üleksit ve Kernit’tir. Birçok metal veya ametal ile yapmış olduğu bileşiklerin farklı özellik göstermesi nedeniyle, endüstride bor bileşikleri kullanılmaktadır. Bor ve ürünleri; uzay ve havacılık sektöründe, nükleer alanlarda, silahlı kuvvetlerin hemen hemen her alanında, yakıtlar, elektrik-elektronik ve iletişim endüstrisi gibi birçok alan yanında özellikle metalürji ve inşaat endüstrisindeki bir çok alanda kullanım imkanı bulabilmektedir. Bunun yanında tüketilmekte olan bor ve türevlerinin yaklaşık %85’lik bölümü cam elyafı, seramik sanayi, ve özellikle de deterjan sektörlerinde daha fazladır (Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2012 yılı faaliyet raporu). Geniş bir kullanım alanı bulunan bor, demir ve çelik sanayinde CaF₂’ün ikame ürünü olarak cüruf yapıcı, potalarda örtücü olarak ve ergitme işlemlerini hızlandırmak amaçlarıyla izabe işlemlerinde kullanılmaktadır. Örnek olarak Bazik Oksijen Fırınlarında çelik eldesinde CaF₂’ün ikame ürünü olarak koleanitin ortama eklenmesi (patentli olarak)

uygulanen esas yöntemlerdendir. Birçok normdaki çelikler için, parça inceltici ve yüzey sertleştirici olarak bor mineral ve bileşiklerinin kullanım örnekleri sıkça görülmektedir.

Tablo 10. Bor mineralleri ve özellikleri*

Mineral	Formülü	%B ₂ O ₃	%H ₂ O
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,6	17,2
Kernit (Razorit)	Na ₂ B ₄ O ₇ H ₂ O	51	26,4
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43	35,6
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8	21,9
Propertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49,6	25,6
Pandermit (Priseit)	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49,8	18,1
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,2	
Szaybolit	MgBO ₂ (OH)	41,4	10,7
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₈ .7H ₂ O	49,8	18,1
Sasolit	H ₃ BO ₃	56,3	43,7
Hidroborasit	CaMgBO ₁₁ .6H ₂ O	50,5	

*DPT raporu cilt-II.

Çeliklerin mukavemetlerini artırmak amaçlı olarak % 0,1 oranında bor ilave edilmesiyle kullanılan birçok alaşımın metallerin yerini tutabildiği bilinmektedir. Demir cevherlerinin yüksek fırında sıvı pike dönüştürülmesinde, gangın cevherden curuf yapılar uzaklaştırılması bilinen bir yöntemdir. Curuflaştırma tekniklerinde, genellikle doğal gangın ve yakıttan gelebilen bazı kirleticilerin yapılarına bağlı olarak flaks eklenmesi de gerekmektedir. Demir çelik üretimlerinde çoğunlukla flaks olarak bazik özellikli olanların ilavesi yapılmaktadır. Bor mineral ve bileşiklerinin bir kısmının bazik özellikte olmaları nedeniyle, flaks olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Günümüzde demir çelik sektöründe bu tür uygulamalar hammadde bulunabilirliğine göre uygulanabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılan boratların daha düzgün, yapışma özelliği olan, koruyuculuğu yüksek ve temiz, çapaksız sıvı oluşturma özellikleri bulunmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı demir dışı metal sanayiinde yüksek koruyucu özelliğe sahip curuf oluşturma işlemlerinde ve ergitmeyi hızlandırma amaçlı bir malzeme olarak da kullanım alanı bulunmaktadır. Ayrıca çeliklerin sertliklerini artırmak için birçok alaşımda tercih edilmektedirler. Ferrebor bu açıdan en önemli alaşım olarak göze çarpmaktadır. Çelik üretimi sırasında yaklaşık 50 ppm bor eklendiğinde çeliğin sertleşme özelliği artmaktadır.

Önemli bor cevherlerinden biri Kolemanit (Ca₂B₆O₁₁.5 H₂O) olup B₂O₃ içeriği % 50,9'dur. Endüstride birçok alanda kullanılmasının yanında bor alaşımları ile metalürji sanayinde metalurjik curuf yapıcı olarak kullanılmaktadır. Demir-çelik sanayiinde çeliğin sertliğini arttırıcı niteliğe sahip olduğundan dolayı kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Kolemanit; ısı altında patlama (dekrepitasyon) özelliği gösterir. Bu nedenle fazla miktarda kullanılması pelet ve çelik kalitesini olumsuz yönde etkiler. Diğer bor minerali Borakstır ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve B_2O_3 içeriği % 36,5'tir. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir. Endüstride en çok kullanılan bileşikler; susuz boraks, boraks dekahidrat ve boraks pentahidratır. Boraks da kolemanit gibi endüstride birçok alanda kullanılmasının yanında metalurjik curuf yapıcı ve korozyon önleyici olarak kullanılmaktadır. Üleksit cevherinin ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) B_2O_3 içeriği ise % 43'tür. Yalıtım cam elyafı, borosilikat camlar ve gübre yapımında ve metalürji sanayinde kullanılmaktadır. [http://www.boren.gov.tr/element.htm]

Kalsinasyon/dehidratasyon işlemi ile minerallere kimyasal bağlı olan bu su giderilmekte ve mineral yapısal değişime uğramaktadır. (Kayandan, vd. 2004). Kalsinasyon işlemi yalnızca malzemenin su içeriğini değil, CO_2 'nin ya da hidratlar, karbonatlar gibi kimyasal bağlı olan farklı gazların uzaklaştırılmasını da ihtiva etmektedir. Dünyada da bor minerallerinin diferansiyel termal analizleri, kalsinasyon işlemleri üzerine yapılmış çalışmalar ve alınmış patentler de mevcuttur (Allen, 1957; Griswold, 1970; Davies, 1991). Termal dehidratasyon işlemi sırasında, bor cevherleri (örneğin üleksit) dehidratasyon sıcaklığına bağlı olarak kristalizasyon suyunun bir kısmını kaybeder. (Erşahan et al. (1995). Üleksitin dehidratasyonunun 100°C 'de başladığı ve dehidratasyon hızının 230°C 'ye kadar yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıcaklığın üzerinde 530°C 'ye kadar oldukça düşük bir oranda dehidratasyon devam etmiş, daha yüksek sıcaklıklarda ise hemen hemen hiç ağırlık kaybı olmamıştır. Şener et al. (2000), 160°C 'nin üzerinde amorflaşmanın gözlemlendiğini bildirmiştir.

Araştırmanın Amacı

Bu doktora çalışmasında demir çelik sektöründe tozlaşan cürufa Bor cevherleri ilave edilerek kompakt yapıda cüruf elde etmek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilecektir. Öncelikle Demir çelik tesislerinde kullanılan ham Hematit cevheri ve Bor cevherleri (kolemanit, üleksit, tinkal ve boroksit) ilgili kuruluşlardan tamin edilerek cevher hazırlama işlemleri yapılacak ve ısıtıl işlemlere (kurutma ve dehidratasyon/kalsinasyon) tabi tutulacak daha sonra belirli oranlarda hazırlanacak şarj malzemesi indüksiyon fırını veya yüksek sıcaklık fırınında eritilerek cüruf ve ergiyik ayrılacak daha sonrada analizleri yapılarak demir çelik üretiminde CaF_2 yerine bor kullanımı ile cürufun akışkanlığı, ve cüruftaki istenmeyen maddelerin oranlarındaki değişim incelenecektir. Pota metalürjisinde oluşan ve soğuduktan sonra tozlaşan cüruf, fazla ıslanma ve sıkışma özelliği olmadığından taşımada, stoklamada ve

Açıklamalı [DO95]: Stil galerisinden Başlık 2 seçiniz

çevre açısından problem oluşturmaktadır. Bu durum işletmelere ek maliyet getirmektedir. Pota fırınına Bor ürünü ilavesi ile cürufu kompakt bir yapıya kavuşturmak ve bu sorunları en az seviyeye indirerek demir çelik sektöründe Bor ürünü kullanımını yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. CaF_2 yerine kullanılacak olan bor cevherleri ile cürufun ergime ısısında düşüş beklendiği için daha hızlı cüruf oluşumu ve bu sayede enerjiden tasarruf edilmesi ve daha kaliteli demir-çelik ürünleri elde edilmesi amaçlanmaktadır.

KURAMSAL TEMELLER VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Yapılacak olan çalışma ile demir-çelik üretiminde kullanılan ve sağlık açısından da zararlı etkileri olduğu bilinen CaF_2 yerine Bor cevherlerinin kullanımı denenecek ve bor cevherleri sayesinde demir-çelik üretiminde yan ürün olarak da bilinen cürufun ergime ısısının düşürülmesi ve bu sayede daha az kok kullanımı ile enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmektedir. Bu konu üzerine yapılan araştırmalara göre; 2014 yılında yapılan bir yüksek lisans tez çalışmasında, borik asit ortamında yüksek sıcaklıkta bekletilmiş otomat çeliklerinin mekanik davranışları incelenmiştir. Borik asit ortamında 900 °C’ de, 3, 6, 9, 12 ve 15 saat süre ile bekletilen numunelerin yorulma, çekme ve mikrosertlik testleri gerçekleştirilerek mekanik özellikleri araştırılmıştır. Yüksek sıcaklığa ve zamana bağlı olarak mikroyapıdaki değişiklikler taramalı elektron mikroskobu yardımıyla araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bor ile yüzey sertleştirme işleminde borik asidin kullanılabilirliği araştırılmıştır (Özgün, R. 2014).

Bir başka çalışmada, 120 tonluk pota ocağına 0, 20, 40, 60 ve 80 kg kolemanit katılarak, hem cürufun davranışına hem de çelik bileşimine ve çelik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kimyasal analiz sonuçları kolemanit katkısının kükürt oranını etkilemediğini göstermektedir. Kolemanitsiz ve kolemanitli üretilen pota cüruflarından örnekler alınarak cüruf yüzeyleri ve kesitleri makroskobik olarak incelenmiş ve kolemanitin cürufun akışkanlığına etkisi değerlendirilmiştir. Artan kolemanit miktarıyla cürufların yüzey poroziteleri azalmış ve daha kompakt yapıya ulaşmıştır. Bu durum bize çelik cürufunun akışkanlığının arttığını göstermiştir. Ayrıca 80 kg kolemanit katkısıyla elde edilen cürufların içine MgO-C refrakter tuğla atılarak, cüruf soğuyana kadar beklenmiştir. Refrakter yüzeyinde bulunan cüruf ile refrakter malzeme arayüzeyi makroskobik olarak incelenmiştir. Cürufun refrakterle bir etkileşiminin olmadığı görülmüştür. Kolemanit katkısız çelikte yaklaşık bor miktarı 5 ppm olarak tespit edilmiştir. Su da sertleştirildikten sonra 5 ppm bor içeren çeliğin sertlik değerleri 245-302 HV arasında değiştiği görülmüştür. Borlu çelik üretmek için 60 kg kolemanit kullanılmış ve çelikte yaklaşık

25 ppm bor miktarına ulaşılmıştır. Su da sertleştirildikten sonra 25 ppm bor içeren çeliğin sertlik değerleri 250-327 HV arasında değiştiği görülmüştür. Burada sertliğinin artmamasının nedeni, literatürde de belirtilen çeliğin içinde bulunan bor atomlarının, azot ve karbon tarafından bağlanarak bor-nitrür ve bor karbür oluşturması ile çelik içindeki çözünmüş borun azalmasıyla açıklanmaktadır (Özçelik, A.K. 2019)

Yapılan bir projede ise, demir çelik sektöründe tozlaşan cürufa Bor Ürünü ilave edilerek kompakt yapıda cüruf elde etmek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Pota metalurjisinde oluşan ve soğuduktan sonra tozlaşan cüruf, fazla ıslanma ve sıkışma özelliği olmadığından taşımada, stoklamada ve çevre açısından problem oluşturmaktadır. Bu durum işletmelere ek maliyet getirmektedir. Pota fırınına Bor ürünü ilavesi ile cürufu kompakt bir yapıya kavuşturmak ve bu sorunları en az seviyeye indirerek demir çelik sektöründe Bor ürünü kullanımını yaygınlaştırmak amaçlanmıştır (metalurji.org).

Kolemanitin “flaks” olarak niçin kullanıldığı; “flaks” görevini nasıl kirecin çözünme hızına, metal-cüruf reaksiyonlarına ve cüruftaki MgO çözünürlüğüne nasıl etki ettiğinin araştırıldığı bir başka çalışmada Boroksitlerin ve lityumoksitlerin bu görevi yerine getirebileceği ortaya çıkarılmıştır. BOF çelik Üretim Prosesinde CaO (yanmı Kireç) kullanılması ve Kolemanitin bünyesinde CaO’nın yanında CaO ve B₂O₃ ilişkisinde ergime sıcaklığının düşük olması sebebiyle Kolemanit avantajlı bir hammadde olarak görülmüştür (Özmen, L ve İmer, C.S. 2005).

Çelik üretim sürecinde florit miktarını azaltmak için flor içermeyen cüruf sisteminin araştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada %0 ila %15 arasında B₂O₃ içeriğine sahip yüksek bazlıklı CaO–SiO₂–FeO_x–MgO cürufu tasarlanmıştır. B₂O₃ içeriğinin cüruf sisteminin faz diyagramı üzerindeki etkisi FactSage 7.3 kullanılarak hesaplanmış ve kırıma sıcaklığı, sıcaklığa bağlı viskozite eğrilerinden belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; B₂O₃ içeriğindeki artışla birlikte, CaO–SiO₂–FeO_x–MgO/B₂O₃ cüruf sisteminin likidus sıcaklığı, akış sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı ve yarım küre sıcaklığı dahil erime özelliklerinin tümünde azalma görülmüştür. Ayrıca %5 ve %8 B₂O₃ içerikli cüruf sisteminin erime özellikleri ve kırıma sıcaklığının flor içeren çelik cüruf değerlerine en yakın olduğu tespit edilmiştir (Chong, J. vd., 2020).

Bir diğer çalışmada, pota metalurjisinde oluşan pota cürufunun kolemanit ile iyileştirilmesi konusu araştırılmıştır. Cüruf başına %1, %1.6 ve %2 B₂O₃ besleme oranlarının

kompakt yapıya dönüştürülmesi için uygun olduğu görülmüştür. Ancak çeliğe geçen bor miktarı açısından hem maliyet hem de çeliğe geçen bor miktarının kontrolü açısından en uygun oranın %1 B₂O₃ kullanımı olduğu belirlenmiştir. (Bilen, M. 2020).

Bor minerallerinin kalsinasyonu/ dehidratasyonu üzerine yapılan bir çalışmada; tüm hidratlı bor mineralleri belli sıcaklıklarda bünyelerindeki kristal sularının tamamını veya bir kısmını verdiği, birbirinden farklı yapısal değişimlere maruz kaldıkları belirtilmiştir. Kalsinasyon sırasında, kolemanit gibi bazı mineraller bünyelerindeki kristal sularını aniden bırakırken, kristal örgüsünde oluşan iç gerilimin etkisiyle parçalanıp toz haline gelmektedir. Bu yapısal değişime dekrepitasyon denir. Üleksit gibi bazı bor mineralleri ise kalsinasyon sırasında kristal sularını bünyelerinden aşamalı olarak bırakırlar ve parçalanmadan daha gözenekli bir yapıya dönüşürler (Özbayoğlu, G. 1997). Özbayoğlu tarafından yapılan bir diğer çalışmada üleksit ve kolemanit cevherlerinin kalsinasyon özellikleri incelenmiş, karışık haldeki mineraller 450 °C'de ve 30 dakika süreyle kalsine edilmiş, bu esnada kolemanitin dekrepite olduğu, üleksitin ise sert bir yapıya dönüştüğü belirlenmiştir (Şener and Özbayoğlu, 1994) (Şener and Özbayoğlu, 1995). Kırka yöresi cevherleri üzerine yapılan bir başka araştırmada, %24,05 B₂O₃ tenörlü tinkal cevherinin kalsinasyon özellikleri incelenmiş, tane boyutunun, sıcaklığın, kalsinasyon süresinin ve fırına besleme hızının kalsine ürünün tenör ve randımanına etkileri incelenmiştir (Batar, vd. 1995). Kolemanit+üleksit minerallerinin dekrepitasyonu üzerine yapılan bir diğer çalışmada kolemanit için optimum dekrepitasyon şartları 500°C'de 15 dakika olarak tespit edilmiş ve 0,5-19 mm aralığında, tane boyutunun önemi olmadığı bulunmuştur Üleksit ise dekrepitasyona uğramamakla birlikte yapısında bir çökme meydana geldiği (Çelik, vd. 1994). Yapılan bir başka çalışmada, kalsinasyon sıcaklığının amonyum klorür çözeltilerinde üleksitin çözünme kinetiğine etkisi kesikli bir reaktörde konsantrasyon, katı-sıvı oranı ve reaksiyon sıcaklığı parametreleri kullanılarak incelenmiştir (Demirkıran and Künkül, 2008). Hoskan, 2019, yaptığı çalışmada bor kalsinasyon davranışının ölçülmesinin yanı sıra kalsine bor minerallerinin kil ve kalsit gibi istenmeyen minerallerden eleme yapılarak ayrıştırılmasını araştırmıştır. 600°C sıcaklıkta 30 dakikada %80.82 geri kazanım ile en yüksek Kolemanit B₂O₃ derecesi %55.25 elde edilmiştir. %35.89 geri kazanım ile en yüksek Ulexite B₂O₃ tenörü %53.35, 600°C sıcaklıkta 60 dakikada elde edilmiştir. Üleksit kalsinasyonunda kullanılan sıcaklık seviyesi Kolemanit kalsinasyonu ile aynı seviyede seçilmesine rağmen yüksek geri kazanımlar tespit edilmemiştir. Bunun nedeni, Üleksit için mineral bozunması görülememektedir. Üleksit kristal yapısı, bozulmayı düşük tutmaya neden olan temel faktördür. (Hoskan, 2019)

Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi

Bu çalışmada borun özellikle çelik sanayiinde önemli işlevlerinin olması nedeniyle kullanımı düşünülmüştür. Bor ve bileşiklerinin çelik sanayiinde özellikle tercih edilmesinin nedenleri; çelik üretiminde florit yerine curuf yapıcı, pota örtücü olarak kullanılabilmesi ve ergitmeyi hızlandırması, çeliklerde alaşım elementi olarak kullanılabilmesi, çeliğin sertliğini arttırması, bazik karakterli olduklarından yüksek fırında kullanılacak kireç miktarını azaltması, yüksek fırında indirgenme sıcaklığını düşürdüğünden dolayı maliyeti azaltması, doğal flaks özelliğe sahip olduklarından peletlerde bentonite alternatif teşkil etmesi, oluşan çok miktardaki bor atığının değerlendirilmesidir. Ayrıca Bor cevherlerinin (kolemanit, Üleksit, Tinkal be Boroksit gibi) gerek ısı işlemlerle susuzlaştırılması ve istenen özelliklerde cevhre hazırlanması bu knuda yapılacak çalışmaya temel oluşturacaktır. Zira bor cevherlerinin endüstride kullanılmadan önce bünyelerindeki bu kimyasal bağlı suyun giderilmesi gerekmektedir. Ayrıca laboratuvar ortamında temin edilme durumuna göre indüksiyon ocağında veya yüksek sıcaklık fırınında farklı parametreler kullanılarak metal ve cüruf oluşum şartları izlenecek ve bir karakterizasyon ve optimizasyon çalışmasına da altlık oluşturulacaktır. Özellikle yerli ve milli kaynaklarımızın kullanımının yaygınlaştırılması açısından önemli bir konu olacaktır. Aynı zamanda dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip ülkesi olmamız nedeniyle, bor cevherlerine olan talebin arttırılacağı da bir başka önemli konudur. Endüstriyel uygulamalarda farklı B_2O_3 tenörüne ve farklı su miktarlarına sahip cevherlere talep olması da bir diğer önemli konudur.

Tez Öneri Konusunun Enstitü ve Ana Bilim Dalı Öncelikli Araştırma Alanlarıyla İlişkisi

Bu başlık altında sunulan tez önerisi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Öncelikli Alanlarından; Akıllı ve Yenilikçi Malzemeler konusuna yönelik olup, metalürji ve malzeme alanına bir altlık vazifesi görebilecek ve bir çok ön işlemin yapılmasının önüne geçilebilecektir. **Yüksek sıcaklık materyallerinin geliştirilmesi** konusunda çalışma yapılmış olacaktır. Ayrıca **Yeni nesil yüksek entropili alaşımların geliştirilmesi** konusunda da ileriye dönük veri temininde gerekli çalışmalar açısından önem arzedecektir. Dolayısıyla yapılacak olan bu tez çalışması ile yerel, bölgesel ve ulusal eğitim ihtiyaçlarına yönelik olarak hizmet edilmiş de olacaktır.

MATERYAL VE METOD

Çalışmada kullanılacak cevher numuneleri Eti maden işletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletmeleri Müdürlüğünden ve Sivas Divriği bölgesinden temin edilecektir. Kullanılacak cevherlerin temin durumuna göre üleksit, kolemanit, tinkal ve boroksit ile hematit olması planlanmıştır. Tüvenan olarak temin edilecek cevherler bir takım zenginleştirme işlemlerine tabi tutularak deneyler için hazırlanacaktır. Cevher hazırlama işlemlerinde çeneli kırıcı, bilyeli değirmen ve mekanik elek kullanılacaktır. Isıl işlemlerde etüv ve kül fırını ile işlemler yapılacaktır. Bu bölümde kullanılacak tüm araç-gereç bölüm imkanları ile fakülte laboratuvarlarında yapılacaktır. Deneylerde hassa terazi kullanılarak tartımlar yapılacaktır. Isıl işlemlerde 35 mL'lik porselen kruzeler ile deneylerin yapılması planlanmıştır.

Ergitme deneylerinde grafit potalar ile deneyler yapılacak ve şarj malzemesi olarak hematit ve bor cevherlerinin yanında CaF_2 , CaO , NaO , aktif karbon temin edilerek kullanılacaktır. Ergitme deneylerinde imkanlar doğrultusunda Gebze Teknik Üniversitesi Alüminyum Araştırmaları Merkezinde olduğu tespit edilen Yüksek Sıcaklık Fırını'nın ücreti karşılığında kullanılması için gerekli girişimler yapılacak ve sonuç alınamazsa laboratuvarlarımızda mevcut olan indüksiyon fırınına platin termocouple ilave edilerek deneylerin yapılması planlanmıştır.

Kalsinasyon/dehidratasyon deneyleri için Bor cevherleri numune hazırlama işlemlerine tabi tutulacak, önce çeneli tip kırıcıda 60 mesh boyutuna daha sonra da bilyeli değirmende öğütülerek 325 mesh boyutuna indirilecektir. Deneylerde kullanılacak cevherler daha sonra mekanik elek vasıtasıyla eleme işlemine tabi tutulacak ve -325 mesh boyutunda nihai ürün elde edilecektir. Kalsinasyon ya da termal analiz çalışmaları statik ve dinamik olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilecektir. Statik metotla yapılan çalışmalarda belirli miktarlardaki numuneler belirli sıcaklık ve sürelerde tutulur. Isıtma işlemi sabit tartıma gelinceye kadar devam eder. Daha sonra soğutulan numunenin tartımı yapılmakta ve numunelerin belirli sıcaklıklarda uğradığı dehidratasyon veya dekompozisyonundan ileri gelen ağırlık değişimleri saptanmaktadır. Cevherdeki kimyasal bağlı suyun giderimi işlemlerinde farklı parametreler seçilerek deneyler yapılacaktır. Bu çalışmada kullanılacak parametreler, kalsinasyon sıcaklığı ve süresi ile cevher miktarı olarak belirlenmiş ve Tablo.11'de verilmiştir. Hematit cevherleri için etüvde kurutma işlemleri yapılacaktır.

Tablo 11. *Isıl işlemlerde kullanılacak parametreler*

Parametre	Parametre Değerleri	Bu değişkeni kullanma nedeni
(C) Dehidratasyon Sıcaklığı (°C)	50-100-150-200-250-300-350-400-450-500-550-600-650-700	Üleksit cevherindeki max. su gideriminin ve B ₂ O ₃ , Na ₂ O ve CaO miktarlarının bulunması
(N) Dehidratasyon Süresi (h)	1-2-4-6	Su gideriminde ve B ₂ O ₃ , Na ₂ O ve CaO miktarlarındaki en ideal ve maksimum sürenin bulunması
(N) Cevher Miktarı (g)	1-3-5	Aynı tenöre karşılık cevher miktarındaki artışlarda dehidratasyon davranışını ve B ₂ O ₃ , Na ₂ O ve CaO değişimlerini görebilmek
(N) Tane Boyutu (mesh)	-325	En ince tane boyutunda su giderimi ve B ₂ O ₃ , Na ₂ O ve CaO artış oranlarını görebilmek.

Kalsinasyon/dehidratasyon deneylerinde kullanılan fırın maksimum sıcaklığı 1100 °C olan Nabertherm marka kül fırınıdır. Deneyler boyunca 35 mL hacimli silindirik şekilli seramik kapaksız potalar kullanılacak, prosedürde, fırın önce boş kruze ile istenilen sıcaklığa ayarlanacak ve daha sonra numune hemen önceden ısıtılmış porselen potaya konularak deneyler başlatılacaktır. Her deneyin sonunda, nemlenmeyi önlemek için kalsine numuneler bir desikatörde oda sıcaklığında yaklaşık 30 dakika soğumaya bırakılacaktır. Kalsinasyon/dehidratasyon deneylerine başlangıçta ilk olarak fırın 50 °C sıcaklığa ayarlanacak ve fırın bu sıcaklığa gelince hassas terazide tartımları yapılan 1, 3 ve 5 g ağırlığındaki bor cevher numuneleri porselen krozelere konularak fırın içerisine alınacaktır. Fırın içerisine kalsinasyon/dehidratasyon süresi olarak belirlenen 1, 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde kullanılmak üzere tartımları yapılan numuneler ayrı ayrı konulacak ve işlem başlatılacaktır. İlk 50 °C ve 1. saat sonunda 1, 3 ve 5 g'lık numuneler fırından çıkarılacak, daha sonra 2. 4. ve 6. saatler sonunda aynı işlemler tekrarlanacak ve 50°C için kalsinasyon/dehidratasyon deneyleri tamamlanacaktır. Aynı işlemler diğer kalsinasyon/dehidratasyon deneyleri için de tekrarlanacaktır. Fırından çıkarılan her numune önce desikatörde bekletilerek soğutulacak ve sonra tartımları yapılarak ağırlık farkları belirlenecektir. Bu suretle numunelerin uğramış oldukları ağırlık azalmaları belirlenmiş olacaktır. Doğrulama amaçlı olarak cevher numunelerinin TG analizleri yapılarak susuzlaştırma işlemi daha detaylı bir şekilde incelenecektir. Bu işlemlerin sonucunda elde edilecek verilerin analizleri (XPS/ICP-MS, EDS/SEM veya XRD, TG/TGA) yapılacak ve elde edilecek sonuçlar ile yöntemi daha sonra belirlenecek olan bir modelleme oluşturulmaya çalışılacaktır.

Ergitme deneylerinde ise, belirlenen oranlarda hazırlanacak olan cevherler önceden hesaplanan miktarda aktif karbon ve kireçtaşı (kalsiyum oksit) ile karıştırılarak grafit pota içine konarak yüksek sıcaklık fırınına konacaktır. Fırının sıcaklığı 1600 °C'ye ulaşınca cevherin aktif karbonla indirgenmesi sağlanacaktır. Oluşan metal ve cüruf fazları grafit kruze içerisinde fırında katılaşması beklenecek veya ergiyik halde cüruf sıyırma işlemi yapılarak ergiyik-cüruf

ayrılması sağlanacaktır. Elde edilen metal ve cüruf fazları hassas terazi ile tartılacak ve kimyasal kompozisyonları ICP – MS ve SEM-EDS cihazları aracılığıyla belirlenecektir. Analizler için gerek fakülte laboratuvar şartları gerekse de Atatürk Üniversitesi DAYTAM aracılığı ile yaptırılacaktır.

İş-Zaman Tablosu

Tablo 12. Tezin Tümüne Ait İş-Zaman Tablosu Şablonu

Dönemler	1.Dönem (İlk altı ay)	2.Dönem (altı ay)	3.Dönem (altı ay)	4.Dönem (altı ay)
İş Paketleri				
Literatür araştırması	x			
Cevher temini ve hazırlanması	x			
Dehidratasyon deneylerinin başlaması	x			
Ergitme Deneyleri		x	x	
Analizlerin yapılması			x	x
Sonuçların yorumlanması ve tezin yazımı				x

Not: Satırlar ve sütunlar gerektiği kadar çoğaltılabilir.

Tablo 13. Tezin Birinci Altı Aylık Döneme Ait İş-Zaman Tablosu

1.Dönem (ilk altı ay)	1.ay	2.ay	3.ay	4.ay	5.ay	6.ay
Ayrıntılı iş paketleri						
Literatür araştırması	x					
Cevher temini	x	x				
Cevher hazırlama		x	x			
Dehidratasyon deneyleri				x	x	x

Not: Satırlar gerektiği kadar çoğaltılabilir.

KAYNAKÇA

Coşar, Ş., 2006. Demir konsantrelerinin peletlenmesinde bor minerallerinin ve atıklarının kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

DPT, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/metalmad/oik635.pdf>

Divriği Madenleri, 2002. Brifing Raporu, Sivas.

<https://www.thebalance.com/steel-production-2340173>

Yeniçeri, M., 1991. Demir Çelik Madencilığının El kitabı, Levent Ofset Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara.

Ünal S., Yücel O., 2014. Kurt M., Gül S. Atık'tan Ürün'e Demir-Çelik Cürufu, İleri Teknolojiler Çalıştayı, 255-267, 2014.

Reuter M., Xiao Y. and Boin, U., 2004. Recycling and environmental issues of metalurgical slags and salt fluxes. VII. International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, 349-356 p. 2004.

Öcal, Y., 2014. Demir çelik sektöründe atık yönetimi, Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı Yayın No:2911. 2014.

Helvacı, C., 2015. Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi, 1 Haziran 2015, Yıl.6, Sayı 47.

İpekoğlu Ü. and Polat. M., 1987. "Bor endüstrisine genel bakış", Madencilik, Vol.26, pp. 5-16, 1987.

Çelik, M.S., Uzunoğlu, H.A. and Arslan, F. 1994. "Decrepitation properties of some boron minerals", Powder Technology, Vol. 79, pp. 167-172, 1994.

Tunç, M., Erşahan, H., Yapıcı, S. and Çolak, S. 1997. "Dehydration kinetics of ulexite from thermogravimetric data", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 48, pp. 403-411, 1997.

Şener, S., Özbayoğlu, G. and Demirci, Ş. 2000. "Changes in the structure of ulexite on heating", Thermochimica Acta, vol. 362, pp. 107-112, 2000.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2012 yılı faaliyet raporu.

DPT (Bor Tuzları –Trona – Kaya Tuzu –Sodyum Sülfat –Stransiyum) çalışma grubu raporu cilt-II.

Kayandan, İ., Pehlevan, V., Çağlayan, B. and Türedi, S., 2004. Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004 Eskişehir Türkiye.

Allen, R.D., 1957. DTA's of Selected Borate Minerals, U.S. Geol. Survey. Bull., 1038-K.

Griswold, W.T., 1970. Method of Calcining and Classifying of Borates, U.S. Patent, 3.309.170.

Davies, T.W., Çolak, S. & Hooper, R.M., 1991. Boric Acid Production by the Calcination and Leaching of Powdered Colemanite, Powder Technology, 65, 433-440.

Erşahan, H., Tunç, M., Ekmekyapar, A. and Yapıcı, S., 1995. Flash Dehydration of Ulexite and Investigation of Dehydration Kinetics from Thermogravimetric Data, Thermochimica Acta. 250, 125.

Özgün, R. 2014. Yüksek sıcaklık ve borik asit ortamının otomat çeliğinin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi ABD, Mart-2014.

Özçelik, A.K., 2019. Çelik cürufalarının borlu bileşiklerle kararlı hale getirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programı, Temmuz-2019.

https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi170/d170_3942.pdf

Özmen, L. ve Ömer, C.S., 2005. Çelik üretiminde Bor oksitlerin kullanımı, 12. Uluslararası Metalurji-Malzeme Kongresi-Eylül 2005, 19-27.

Chong, J., Shen Y., Yang, P., Tian, J, Zhang, W., Xingchang Tang, X., and Du, X. 2020. Effects of B₂O₃ on Melting Characteristics and Temperature-Dependent Viscosity of High-Basicity CaO–SiO₂–FeO_x–MgO Slag, Materials, MDPI, 13, 1214; doi:10.3390/ma13051214.

Bilen, M. 2020. Improvement of ladle slag formed in ladle metallurgy with colemanite, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 35:2 (2020) 943-951

Özbayoğlu, G. 1997. Üleksit ve Kolemanit Tozlarının, Kalsinasyon Ürünlerinin ve Boraks Pentahidratın Biriketlenmesi, TUBİTAK Yer-Deniz-Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu YDABÇAĞ-138 No'lu Proje, Kasım-1997, Ankara.

Şener, S., Özbayoğlu, G. 1994. Üleksitin kalsinasyon özelliklerinin tespiti ve üleksit-kolemanit ayrılmasında kalsinasyonun kullanımı, Bor Mineralleri Zenginleştirme Semineri Bildirileri, Bornova, 22 Nisan 1994, s.47-57.

Batar, T., Akdağ, M., Kahraman, F., Çelik, M.S. 1995. Dry processing of boron minerals for the abatement environmental pollution. 6th Balkan Conference on Mineral Processing, 18-21 Sept., 1995, Ohrid, Macedonia

Demirkıran, N., Künkül, A. 2008, Dissolution kinetics of ulexite prepared under different calcination temperatures, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol.25, no.04, p.751-758, October-December-2008.

Hoskan, S. 2019, The calcination behaviour of fine-sized colemanite and ulexite ore under conventional heat treatment, IJSEC, Vol.9, Issue no.7, Research Article, July, 2019,

EKLER

Ekler metin içindeki numara sırasına göre buraya verilmelidir.