

**DİSODYUM TETRABORAT ÜRETİMİNDE KULLANILACAK
BİR FIRININ TASARIMI VE İMALATI**

Ertan YEKSAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Ertan YEKSAN tarafından hazırlanan DİSODYUM TETRABORAT ÜRETİMİNDE KULLANILACAK BİR FIRININ TASARIMI VE İMALATI adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. B. Zühtü UYSAL

Üye: : Prof. Dr. Ö. Ercan ATAER

Üye: : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Üye: : Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Üye: : Yrd. Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Tarih : 22 / 09 / 2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ertan YEKSAN

**DİSODYUM TETRABORAT ÜRETİMİNDE KULLANILACAK
BİR FIRININ TASARIMI VE İMALATI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ertan YEKSAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006**

ÖZET

Bu tezde, disodyum tetraborat üretmek amacıyla bir prototip fırın tasarlanmış ve imalatı Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, toz atomizasyon yöntemine dayalı yeni geliştirilen ürün işleme ünitesi tasarlanmış ve imal edilmiştir. İmalat işlemlerinden sonra bir seri deney yapılarak disodyum tetraborat üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, ağırlıkça % 68,24 B_2O_3 ve % 30,38 Na_2O içeriğine sahip disodyum tetra borat ($Na_2B_4O_7$) elde edilmiştir. Ancak, toz atomizasyon yöntemiyle ürün işleminde istenilen tane büyüklüğünde yapı elde edilememiştir.

Bilim Kodu : 914.1.089

Anahtar Kelimeler : Disodyum tetraborat, toz atomizasyon yöntemi, fırın tasarımı

Sayfa Adedi : 58

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç Dr. Atilla BIYIKOĞLU

**DESIGN AND MANUFACTURE OF A FURNACE
FOR THE PRODUCTION OF DISODIUM TETRABORATE
(M.Sc. Thesis)**

Ertan YEKSAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2006**

ABSTRACT

In this study, a prototype furnace for the production of disodium tetraborate is designed and manufactured at Eti Mine Works Kırka Borax Managing Administration. In addition, a new developed product processing unit based on the method of powder atomization is designed and manufactured. After manufacturing works, a set of experiments is performed and disodium tetraborate is produced. As a result, disodium tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) is obtained including the following constituents as mass percentages; % 68,24 B_2O_3 and % 30,38 Na_2O . But, required grain size can not be obtained by the method of powder atomization for product processing

Science Code : 914.1.089
Key Words : Disodium tetraborate, powder atomization, furnace design
Page Number : 58
Adviser : Asst. Prof. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU'na, tez konumunun belirlenmesinde yardımcı olan sayın Prof. Dr. Zühtü UYSAL'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Başmühendis Ayhan MERİÇ'e ve Teknik Şef Bülent YILMAZ'a, disodyum tetraborat fırını imalatında emeği geçen mekanik atölye teknisyenim Uğur GEZGİNCİ'ye, tuğla ustam Ahmet CERİT'e ve diğer usta arkadaşlara, fabrikada görevli arkadaşım kimya mühendisi Tolga ÖLMEZ'e, GENÇULUS ve YEKSAN ailelerine ve son olarak manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Sevgi YEKSAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
3. FIRIN TASARIMI İÇİN ÖN HESAPLAMALAR	9
3.1. Isı Kaybı Hesabı	9
3.1.1. Fırın yan yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı	10
3.1.2. Fırının tavan yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybı	11
3.1.3. Fırının taban yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybı	12
3.2. Disodyum Tetraborat Oluşum Reaksiyonu	14
3.2.1. Çiğ noktası sıcaklığı	15
3.3. Yakıt Besleme Ünitesi	15
3.3.1. Doğalgaz brülörü	16
4. FIRIN TASARIMINDA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	18

	Sayfa
4.1. Çelik Sac ve Profiller.....	18
4.2. Fırın Örumünde Kullanılan Ateş Tuğlaları ve Asma Aparatları.....	19
4.3. Fırın Örumünde Kullanılan Refrakter Malzemeler.....	23
4.3.1. Periklas harç.....	23
4.3.2. Dökme harcı.....	25
5. FIRIN İMALATI.....	28
5.1. Toz Atomizasyon Ünitesi.....	40
5.1.1. Mannesman tipi nozul tasarımı, denemesi ve disodyum tetraborat akış hızının belirlenmesi.....	41
5.2. Termokupl.....	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Disodyum Tetraborat' ın fiziksel özellikleri.....	2
Çizelge 1.2. Disodyum Tetraborat' ın kimyasal özellikleri.....	3
Çizelge 1.3. Boraks Pentahidrat' ın fiziksel özellikleri.....	3
Çizelge 1.4. Boraks Pentahidrat' ın kimyasal özellikleri.....	3
Çizelge 1.5. 1997-2001 yıl sonu itibariyle bor ürünleri fiyatları	4
Çizelge 3.1. Fırın ısı kaybı hesabında kullanılan deneysel veriler	10
Çizelge 3.2. Reaksiyon ürünlerinin formasyon ısıları.....	14
Çizelge 4.1. Fırın örümünde kullanılan ateş tuğlalarının teknik özellikleri.....	19
Çizelge 4.2. Periklas harç içersinde kullanılan sodyum silikatın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	24
Çizelge 4.3. Fırın örümünde kullanılan periklas harç malzemesinin fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 4.4. Fırın örümünde kullanılan periklas harç malzemesinin kimyasal özellikleri.....	25
Çizelge 4.5. Fırın örümünde kullanılan dökme harc malzemesinin fiziksel özellikleri.....	25
Çizelge 4.6. Fırın örümünde kullanılan dökme harc malzemesinin kimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 5.1. MN 30/15-12 kod numaralı Mannesman tipi nozula ait büyüklükler.....	42
Çizelge 5.2. NiCr-Ni(Nikelkrom-nikel) termokupl özellikleri.....	46
Çizelge 6.1. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık değerleri.....	48
Çizelge 6.2. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık, besleme ve ürün alma değerleri (Deney 1).....	49

	Sayfa
Çizelge 6.3. 1. Deney sonucu üretilen üründen alınan iki numunenin kimyasal analiz sonuçları.....	51
Çizelge 6.4. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık, besleme ve ürün alma değerleri (Deney 2).....	53
Çizelge 6.5. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık, besleme ve ürün alma değerleri (Deney 3).....	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Fırının yan duvar kısımlarına ait kesit ölçüleri.....	11
Şekil 3.2. Fırının tavan kısmına ait kesit ölçüleri.....	12
Şekil 3.3. Fırının taban kısmına ait kesit ölçüleri.....	13
Şekil 4.1. Fırın konstrüksiyonunda kullanılan I ve U profillerin ölçüleri.....	18
Şekil 4.2. Fırının yan duvarlarında kullanılan ateş tuğla ölçüleri.....	20
Şekil 4.3. Fırının taban ve köşelerinde kullanılan ateş tuğla ölçüleri.....	20
Şekil 4.4. Fırının brülör çevresinin örümünde kullanılan ateş tuğla ölçüleri...	21
Şekil 4.5. Fırın asma tavanında kullanılan uzun ateş tuğlasının ölçüleri.....	21
Şekil 4.6. Fırın asma tavanında kullanılan kısa ateş tuğlasının ölçüleri.....	22
Şekil 4.7. Fırın asma tavan aparatı ölçüleri.....	23
Şekil 5.1. Fırının yan yüzey görünümü.....	29
Şekil 5.2. Fırının ön yüzey görünümü.....	30
Şekil 5.3. Helezon yaprağını oluşturan parçaların ölçüleri.....	33
Şekil 5.4. Fırının ön kısım kesit görünümü.....	37
Şekil 5.5. Fırının yan kısım kesit görünümü.....	38
Şekil 5.6. Nozul hava ve eriyik çıkış ağzı.....	42
Şekil 5.7. Mannesman tipi nozul.....	43
Şekil 5.8. Fırında kullanılan termokuplların koordinatları.....	47

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Fırın için seçilen doğalgaz brülörü.....	16
Resim 3.2. Brülörün fırın üzerindeki görünümü.....	17
Resim 4.1. Fırın giriş kapağı	26
Resim 4.2. Fırın gözetleme delik kapağı.....	27
Resim 5.1. Brülör yerleştirilen kısım ve gözetleme deliği.....	31
Resim 5.2. Fırının genel görünümü.....	32
Resim 5.3. Helezon yaprak kalıpları.....	33
Resim 5.4. Helezon konveyör mili ve yaprakları.....	34
Resim 5.5. Besleme silosu.....	35
Resim 5.6. Helezon konveyör kompleksi.....	36
Resim 5.7. Helezon konveyörün fırına giren uç kısmı.....	36
Resim 5.8. Fırın brülör, gözetleme deliği ve akış ağzının gösterimi.....	39
Resim 5.9. Fırın asma tavan örümü.....	39
Resim 5.10. Fırın tavanın üstten görünüşü.....	40
Resim 5.11. Mannesman tipi nozulun üst ve alt kısımlarının görünümü.....	44
Resim 5.12. Mannesmen tipi nozulun denenmesi.....	44
Resim 5.13. Nozuldan geçen ürünün oluşturduğu yapı.....	45
Resim 5.14. Fırın yan yüzeyine yerleştirilen NiCr-Ni termokupl.....	47
Resim 6.1. 1. Deney sonucu elde edilen ürün.....	51
Resim 6.2. Analizleri yapılan numuneler.....	52
Resim 6.3. 2. Deney sonucu elde edilen ürün.....	53
Resim 6.4. 3. Deney sonucu elde edilen ürün.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Alan(m^2)
c_p	Isı kapasitesi($kJ/K.mol$)
k	Isı iletim katsayısı(W/mK)
m	Kütle debisi(kg/h)
m_A	Molekül ağırlığı(kg/mol)
n	Molar debi(mol/h)
P	Basınç(Pascal)
R	Isıl direnç(K/W)
T	Sıcaklık(K)
U	Isı aktarım katsayısı(W/m^2K)
q	Toplam ısı aktarımı(W)
ΔH_R	Reaksiyon entalpisi(kJ/mol)
ΔH_f	Formasyon entalpisi(kJ/mol)
Δx	Kalınlık(m)
ΔT	Sıcaklık farkı(K)

1. GİRİŞ

Bor, ülkemizin sahip olduğu en önemli madenlerden biridir. Bünyelerinde değişik oranlarda boroksit (B_2O_3) içeren bor minerallerinin en önemlileri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'dadır. Dünya toplam bor rezervinde Türkiye'nin payı %72,2 diğer önemli ülke olan ABD'nin ise %6,8'dir. Dünyadaki en önemli bor üreticileri; US Borax Inc. (ABD) ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'dür. Dünya bor üretiminin yaklaşık %70'ini ABD ve Türkiye gerçekleştirmektedir. Türkiye'nin bor pazarını gelişmiş ülkeler oluşturmakta ve ihracatının büyük çoğunluğunu bu ülkelere yapmaktadır[1].

Bor mineralleri bazı alanlarda ham olarak kullanılabildiği gibi, genel olarak rafine bor bileşiklerine ve uç ürünlere dönüştürüldükten sonra geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Cam endüstrisinden sabun ve deterjanlara, gübre ve tarımsal ilaçlardan aleve dayanıklı malzemelere, nükleer uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanı olan bor ürünleri günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahiptir[2].

Bazı bor türevlerinin sanayi kollarına göre kullanım alanları şu şekildedir. Seramik sanayiinde borik asit seramiği çizilmeye karşı korumaktadır. Disodyum tetraborat temizlik ve beyazlatma sanayiinde mikrop öldürücü etkisi nedeniyle kullanılmaktadır. Tarım sanayiinde bor minerali birçok bitkinin temel besin maddesidir. Bitkilerdeki bor eksikliğini gidermek için disodyum tetraborat ve boraks pentahidrat içeren karışık bir gübre kullanılmaktadır. Yine disodyum tetraborat metalurji sanayiinde curuf yapıcı ve metallerde alaşım elamanı olarak kullanılmaktadır. Yanmayı geciktirici maddeler sanayiinde borik asit ve boratlar, selülozik maddelere ve ateşe karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Bor bileşikleri plastiklerde yanmayı önleyici olarak giderek artan oranda kullanılmaktadır[2].

Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere bor türevleri antifriz karışımına katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Tekstil sanayiinde, nişastalı yapıştırıcıları viskozitelerinin ayarlanmasında, kazeinli yapıştırıcıların çözücülerinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde, boru ve tel çekmede akıcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çökertici madde olarak boraks kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları ise kısaca; fiber optik, kozmetik, kauçuk ve plastik sanayii, fotoğrafçılık, patlayıcı maddeler, Hidrolik yağlar, petrol boyaları, yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boyaları, zımpara ve aşındırıcılar, kompozit malzemeler, manyetik cihazlar, ileri teknoloji araştırmaları (moleküler biyoloji vb.) olarak belirtilmektedir[2].

Disodyum tetraborat, ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) diğer bir deyişle susuz boraks, doğada serbest halde bulunmayan ve çeşitli hidrasyon sularına sahip boraksların (boraks dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), boraks pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), boraks dihidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), boraks tetrahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), boraks monohidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$)) sularının dehidrasyonu ile elde edilir. Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2 de Disodyum tetraboratın fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir.

Çizelge 1.1. Disodyum Tetraborat' ın fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Fiziksel Değer
Molekül Ağırlığı	201,27 g/mol [10]
Özgül Ağırlık	2,367 g/cm ³ [10]
Ergime Noktası	742,5 °C [3]
Formasyon Entalpisi(ΔH_f)	-3250,79 kJ/mol [14]
Isı Kapasitesi(c)	0,2 kJ/K.mol [10]
Ergime Isısı	81,2 kJ/mol [3]

Çizelge 1.2. Disodyum Tetraborat' ın kimyasal özellikleri [1]

Kimyasal Özellik	Kimyasal Değer(% ağırlık)
B ₂ O ₃	68.9
Na ₂ O	30,67

Disodyum Tetraborat'ın kullanım alanları kısaca şu şekildedir. Cam, cam yünü, ot ve böcek öldürücü ilaçlar, elektrotlar, elektrolitler, emaye, kozmetik, ilaçlar, tekstil boyaları, gübreler, elektrik yalıtkanı, çimento, korozyon önleyici, Yapıştırıcılar, Deri Tabakalama, altın izabesi, ateşe dayanıklı plastikler vb.[3].Fırına beslenecek ürün olan boraks pentahidratın fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Çizelge 1.3 ve Çizelge 1.4 de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Boraks Pentahidrat' ın fiziksel özellikleri[1]

Fiziksel Özellik	Fiziksel Değer
Molekül Ağırlığı	291,35 g/mol [10]
Özgül Ağırlık	1,815 g/cm ³ [10]
Formasyon Isısı(ΔH_f)	-4779,8 kJ/mol [14]

Çizelge 1.4. Boraks Pentahidrat' ın kimyasal özellikleri [1]

Kimyasal Özellik	Kimyasal Değer(% ağırlık)
B ₂ O ₃	48,5
Na ₂ O	21,6
Safılık	101,46

Türkiye'de Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Türevleri Tesisinde, J. T. Thorpe(ABD) firmasından temin edilmiş ve 1999 yılında çeşitli teknik nedenlerle yıkılarak devre dışı bırakılan 60.000 ton/yıl kapasiteli disodyum tetraborat fırınının montajı 1983 yılında tamamlanmış olmasına rağmen ilk üretim denemeleri 1996 yılında gerçekleştirilmiş, fakat istenilen üretim miktarına ulaşamamıştır. Eti Maden İşletmeleri Genel

Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Türevleri Tesisinde 1996-1999 yılları arasında üretilen disodyum tetraborat miktarı 8905 ton mertebelerinde kalmıştır[3].

Günümüzde hem Türkiye'den hem de diğer dış kaynaklardan alınan ham maddeyle dünya disodyum tetraborat ihtiyacının tamamına yakını USB(US Boraks, 25000ton/yıl) ve IMC (RUSYA-50000ton/yıl) firmalarının üretimi ile karşılanmaktadır[3].

Aşağıdaki Çizelge 1.5 1997-2001 tarihleri arasında çeşitli bor türevlerinin ürün ve satış şartlarına göre satış fiyatlarını göstermektedir[6].

Çizelge 1.5. 1997-2001 yıl sonu itibariyle bor ürünleri fiyatları(USD)

	Yıllara Göre Fiyat Dağılımı (USD/ton)				
Ürünler ve Satış Şartları	1997	1998	1999	2000	2001
Disodyum Tetraborat % 99'luk dökme	818	742	637	637	637
Disodyum Tetraborat % 99'luk torbalı	884	802	846	846	846
Boraks dekahidrat % 99'luk granül, torbalı, kamyonu teslim	381	346	378	378	378
Boraks dekahidrat % 99,5'luk granül, dökme, kamyonu teslim	315	286	374	374	374
Boraks pentahidrat % 99,5'luk granül, torbalı, kamyonu teslim	443	402	426	426	426
Boraks pentahidrat % 99,5'luk granül, dökme, kamyonu teslim	375	340	376	376	376
Borik Asit % 99,9'luk granül, torbalı, kamyonu teslim	883	801	834	834	834
Borik Asit % 99,9'luk granül, dökme, kamyonu	819	743	788	788	788
Susuz Borik Asit US Borax-Chem. Corp., yüksek saflıkta % 99 B ₂ O ₃	220	220	190	190	190
Türk Kolemaniti, % 42 B ₂ O ₃ –70 mesh'in altında	295	295	290	270	270
Türk Üleksiti, % 38 B ₂ O ₃ – 6 mesh'in altında	200	200	200	200	200

Görüldüğü üzere disodyum tetraborat katma değer açısından diğer bor türevlerine göre daha yüksek değerlere sahiptir.

Bu çalışmada, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Bor Türevleri Tesisinde bugüne kadar elde edilen deneyimler de dikkate alınarak, bir prototip disodyum tetraborat fırınının tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu prototip fırının, Türkiye'nin disodyum tetraborat ihtiyacını karşılamak amacıyla tasarım ve imalatı yapılacak olan fırına temel teşkil etmesi hedeflenmiştir.

Disodyum tetraborat diğer bir deyişle susuz boraks üretmek için kullanılan hammadde elek altı boraks pentahidrattır. Boraks pentahidrat Eti Maden Kırka Bor İşletme Müdürlüğü fabrikaları tarafında üretilen nihai üründür. Açık ocaktan çıkarılan cevher kırma, eleme ve yıkama işlemlerinden sonra fabrikalarda çözme, tiknerlerde kilin çöktürülmesi, filtreleme, kristallendirme ve kurutma işlemlerinin ardından nihai ürün olan boraks pentahidrata dönüştürülmektedir.

Fırın imalatı için ilk olarak fırının dış ölçüleri belirlenerek tasarımı yapılmıştır. Fırın yaklaşık olarak üç metre boyunda iki metre eninde ve bir buçuk metre yüksekliğindedir. Yerden yüksekliği otuz beş santimetredir. Fırın konstrüksiyonu çelik saclardan, U ve I demirlerinden oluşmaktadır. Fırın örümünde taban, tavan, yan yüzeyler için değişik boyutlarda ve şekillerde ateş tuğlaları kullanılmıştır. Tavan yüzeyi asma tavandır. Tavan tuğlalarının birbirleri içersine geçirilmesi ve asma aparatları ile tavandaki I demirlerine asılmalarıyla oluşmuştur. Taban yüzeyine üç kat tuğla örülmüş, bir sıra da kademe için örülmüştür. Brülörün fırın içerisinde kalan kısmının çevresine kemer tuğla döşenmiştir. Harç malzemesi olarak periklas harç ve dökme harcı karışım sıvısı olarak sodyum silikat kullanılmıştır. Periklas harç tuğla örümünde, dökme harcı kapak, gözetleme deliği ve bacada kullanılmıştır.

Disodyum tetraborat üretmek için fırında kullanılan yakıt doğalgazdır. Doğalgaz, boraks pentahidrat besleme miktarı ve ısı kayıpları göz önüne alınarak seçilen bir brülör aracılığıyla yakılmıştır. Fırının yan yüzeyine yerleştirilen termokupl çalışma esnasında doğalgaz brülörüne kumanda etmiştir. Fırın tabanında bir ergime bölgesi(yatağı) oluşturulmuştur. Bu bölgede biriken disodyum tetraboratın belirli bir yüksekliği(30 mm) aşınca çıkış deliğinden akarak buraya yerleştirilen bir nozuldaki geçirmek suretiyle eriyik halde iken kesilmesi hedeflenmiştir.

Bir atomizasyon ünitesinde nozul, atomizasyon ortamının akışını kontrol eder ve onu istenen özelliklerdeki bir tozu üretmek için sıvı metalle temas ettirip, sıvı metalin parçacıklara ayrılmasını sağlar. Günümüzdeki nozulların çoğu patentlidir. Gaz atomizasyonunda kullanılan bazı nozul tipleri Mannesmann, Thompson, Naeser ve Probst tipi nozullardır [13]. Disodyum tetraboratın parçacıklara ayrılmasında kullanılacak olan nozul Mannesmann tipi nozuldur.

Fırın içersine boraks pentahidrat helezon konveyör ile beslenmiştir. Cr-Ni alaşımlı paslanmaz çelik malzemeden imal edilen helezonun tahrik sistemi kaplin bağlantılı redüktör, varyatör ve elektrik motorundan oluşmaktadır. Burada varyatör manuel olarak helezon devrinin artırılması veya azaltılmasını sağlamaktadır. Elek altı boraks pentahidrat beslemesi fırının olduğu bölgede üst katta yer alan silo ile sağlanmıştır. Buradan bir boru kanalıyla helezon konveyöre verilen boraks pentahidrat buradan fırına aktarılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Disodyum tetraborat üretimi ile ilgili literatür araştırması sonucu elde edilen bilgiler oldukça kısıtlıdır. Özellikle üretim yöntemi ile ilgili olarak bulunan kaynaklarda mikrodalga ısıtma sistemi ile[9] ve akışkan yataklı kalsinatör[12] kullanılarak yapılan üretimler ön plana çıkmaktadır.

S. Kocakuşak, J. H. Köroğlu, E. Ekinci, R. Tolun boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat minerallerinin susuzlaştırma çalışmalarını mikrodalga ısıtma sistemi kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada 650 Watt gücünde mikrodalga fırın ile birlikte 1600 Watt gücünde konvektif ısı ünitesi kullanılmıştır. Bu sayede %97,5 saflıkta disodyum tetraborat üretimi yapılmıştır. Önceden ısıtma işlemi hem kalitede hem de susuzlaştırma zamanında etkili olmuştur. 2 mol üzeri susuzlaştırma işlemi kademeli olarak çok daha süratli ölçülmüştür. Sonuç olarak mikrodalga ısıtma ile geleneksel ısıtma sistemlerine göre daha temiz ve hızlı ürün ortaya çıkarılmıştır[9].

Ö. Şahin ve A. Nusret Bulutçu' ya göre akışkan yataklı kalsinatörde disodyum tetraborat üretim işlemini optimize edebilmek için boraks pentahidratın susuzlaştırmadaki davranışını her koşulda incelemek şarttır. Bu çalışmada boraks pentahidratın disodyum tetraborata dönüştürülmesi sırasındaki mevcut çalışma ortamının çok önemli olduğu tespit edilmiştir. Nihai ürünün bor içeriği ve kütle yoğunluğu akışkan yataktaki susuzlandırma periyodunun sıcaklık derecesinin sayısal fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Kütle yoğunluğunun aynı zamanda boraks pentahidratın yapısında kalan suyun mol sayısına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. %99.9'a kadar yüksek saflıkta, düşük yoğunlukta ve toz halindeki disodyum tetraborat çok aşamalı kalsinasyon ile üretilebilmektedir. Bu sebeple boraks pentahidratın çok aşamalı ısıtılmasıyla ve uygun akışkan yatak sistemi ile disodyum tetraborat üretilebilir[12].

Ö. Şahin ve A. Nusret Bulutçu bir başka çalışmalarında akışkan yataklı kalsinatörde taneleme ile yüksek kütle yoğunluğuna sahip disodyum tetraborat üretimini araştırmışlardır. Tek aşamalı kalsinasyon çok düşük yoğunluklu şişkin ürüne neden olmaktadır. Yüksek kütle yoğunluklu ürün elde edebilmek için susuzlaştırma işlemi iki aşamada gerçekleştirilmelidir. İlk aşama, son kütle yoğunluğunun baskın hale getirildiği en önemli adımdır. Bu ilk aşamada boraks pentahidratın 393 K'den daha düşük sıcaklıkta susuzlaştırılmasıyla %80 saflıkta disodyum tetraborat elde edilerek yüksek kütle yoğunluğu sağlanır. Bu kritik noktadan sonra ortaya çıkan tanelerdeki etkili termal şok ve ihmal edilmiş reaksiyonla birlikte kütle yoğunluğu değerinin $0,6 \text{ g/cm}^3$ artmış olduğu gözlemlenmiş, ortam sıcaklığının ise 800 K olduğu tespit edilmiştir[11].

3. FIRIN TASARIMI İÇİN ÖN HESAPLAMALAR

3.1. Isı Kaybı Hesabı

Disodyum tetraborat üretmek amacıyla tasarımı yapılan fırının enerji ihtiyacı belirlenirken, göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlardan biri de fırın yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybıdır. Fırın yüzeylerinde kullanılan malzemeler yapı itibarıyla birbirlerinden farklı malzemelerdir. Bu nedenle hesaplama yapılırken sistem karma duvar olarak ele alınmalıdır.

$$q = U \times A \times \Delta T \quad (3.1)$$

Eş. 3.1 de q, toplam ısı aktarımını, A, alanı ΔT , iç yüzey ile dış yüzey arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir. Eş. 3.1 deki fırın yüzeylerinden birim zamanda gerçekleşen ısı kaybını belirlerken karma duvar sisteminde kullanılan ısı aktarım katsayısı U ile çalışmak çoğu kez daha kolaydır[5].

$$R = \frac{1}{UA} = \frac{1}{A} \left(\frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} \right) \quad (3.2)$$

Eş. 3.2 de görüldüğü üzere ısı geçiş katsayısı, ısıl dirençle ilişkilidir. Burada ısıl direnç hesaplanırken seri karma duvar için eşdeğer ısıl devre prensibi geçerli olmaktadır[5].

Fırın yüzeylerinden olan toplam ısı kaybı, öncelikle, Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nde daha önce kurulu bulunan 60000 ton/yıl kapasiteli Disodyum Tetraborat Fırınına ait fırın içi sıcaklık değeri 825°C alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu C-45S model doğalgaz brülörü seçilmiştir. Tasarım gerçekleştirilip test amaçlı fırın çalıştırılmış ve elde edilen deneysel sıcaklıklara göre fırın yüzeylerinden gerçekleşen toplam ısı kaybı yeniden

aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Fırın yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı hesabı Çizelge 3.1 deki deneysel sıcaklıkların ışığı altında yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Fırın ısı kaybı hesabında kullanılan deneysel veriler

Fiziksel Özellik	Fiziksel değer
Fırın içi ortam sıcaklığı	793 °C
Fırın iç duvar yüzey sıcaklığı	655 °C
Fırın dış duvar yüzey sıcaklığı	210 °C
Fırın dış tavan yüzey sıcaklığı	245 °C
Fırın dış taban yüzey sıcaklığı	193 °C
Fabrika ortam sıcaklığı	35 °C
Ateş tuğla ısı iletim katsayısı(1200°C)(k_1)	1,46 W/mK [10]
Çelik sac (St 37) ısı iletim katsayısı (k_2)	50 W/mK [5]

Fırının çalışması sırasında fırın tavan ve taban iç yüzey sıcaklıkları ölçülememiştir. Bu sebeple ısı kayıpları hesaplanırken bu sıcaklıkların yerine fırın içi ortam sıcaklığı kullanılmıştır.

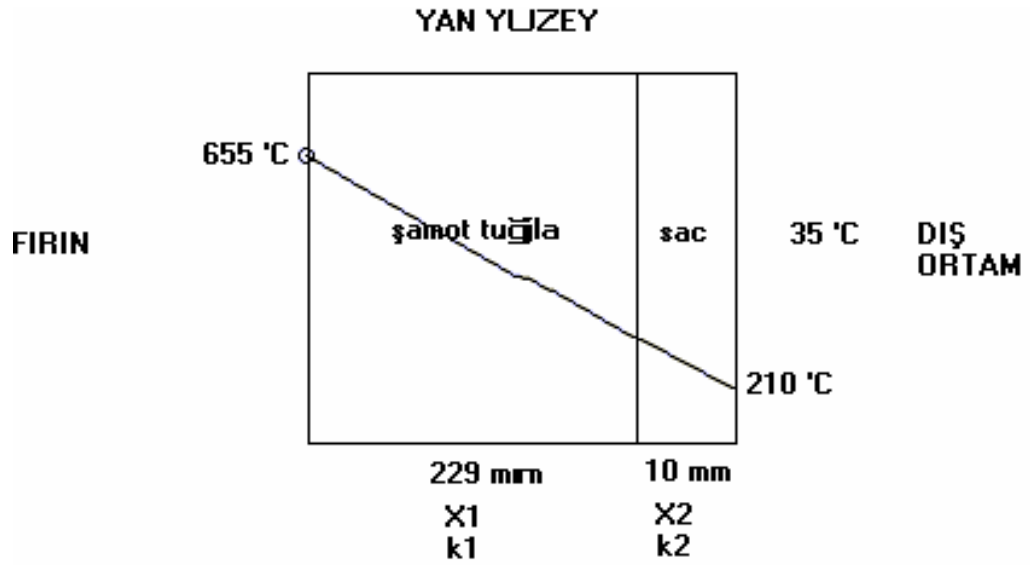
3.1.1. Fırın yan yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı

Yan yüzeylerden olan ısı kaybı hesaplanırken fırının ön duvar, arka duvar ve yan duvarlarının tamamı yan yüzeyler olarak ele alınacaktır. Fırın tasarımı sonucu elde edilen verilerin ışığı altında yapılan hesaplama aşağıda verilmiştir.

Fırın yan yüzeylerinin toplam alanı(A_T) : 15 m²

Fırın yan duvar tuğla kalınlığı(Δ_{x1}) : 0,229 m

Fırın yan duvar sac kalınlığı(Δ_{x2}) : 0,01 m



Şekil 3.1. Fırının yan duvar kısımlarına ait kesit ölçüleri

$$R = \frac{1}{uA} = \frac{1}{15} \left(\frac{0.229}{1.46} + \frac{0.01}{50} \right) = 0.01 \text{ K/W}$$

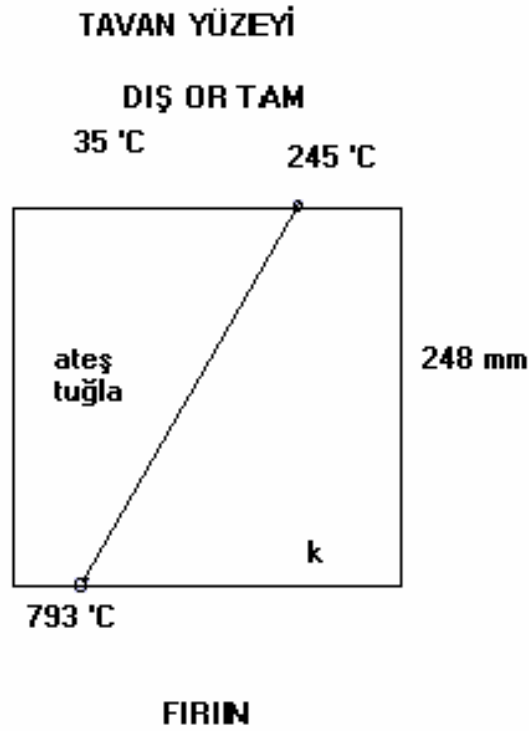
Şekil 3.1 deki verilerin ışığında, yan yüzeylere ait toplam ısı direnç hesaplandıktan sonra, toplam ısı kaybı; $q_1 = 44500 \text{ W}$ olarak bulunur.

3.1.2. Fırının tavan yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybı

Yan yüzeylerde olduğu gibi tavan yüzeyinden olan ısı kaybı hesabı da aynı metotla çözülebilir.

Fırın tavan yüzey alanı(A_T) : 6 m²

Fırın tavan tuğla kalınlığı(Δ_{X1}) : 0.248 m



Şekil 3.2. Fırının tavan kısmına ait kesit ölçüleri

Değerler formülde yerine konulursa; ısı direnç

$$R = \frac{1}{kA} = \frac{1}{6} \left(\frac{0.248}{1.46} \right) = 0.028 \text{ K/W}$$

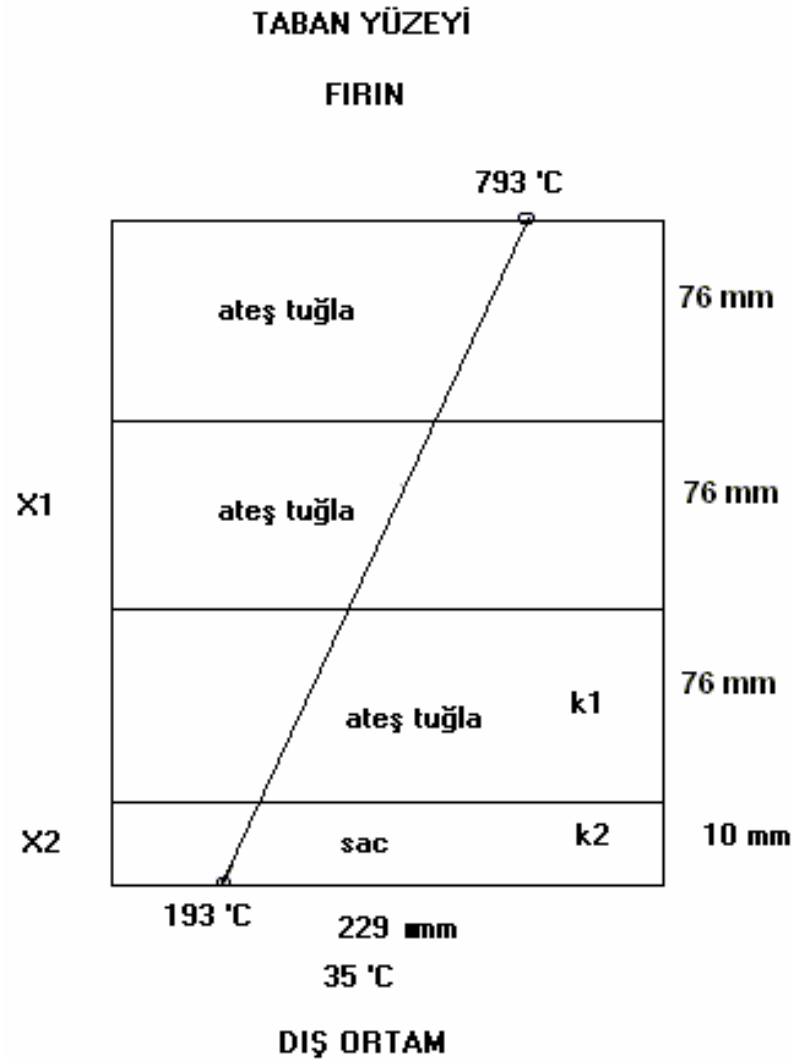
Şekil 3.2 de gösterilen tavan yüzeyinden olan ısı kaybı; $q_2 = 19571 \text{ W}$ olarak bulunur.

3.1.3. Fırının taban yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybı

Fırın taban yüzey alanı(A_T) : 6 m²

Fırın taban tuğla kalınlığı(Δ_{x1}) : 0.237 m

Fırın taban sac kalınlığı(Δ_{x2}) : 0.01 m



Şekil 3.3. Fırının taban kısmına ait kesit ölçüleri

$$R = \frac{1}{kA} = \frac{1}{6} \left(\frac{0.228}{1.46} + \frac{0.01}{50} \right) = 0.026 \text{ K/W}$$

Taban yüzeyinden olan ısı kaybı; $q_3 = 23077 \text{ W}$ olarak bulunur. Tüm yüzeylerden gerçekleşen toplam ısı kaybı ise $q = q_1 + q_2 + q_3 = 87 \text{ kW}$ olur. Bir saat için kayıp olan enerji miktarı ise $313,2 \times 10^3 \text{ kJ}$ olarak hesaplanır.

3.2. Disodyum Tetraborat Oluşum Reaksiyonu

İstenilen işletme parametrelerinde disodyum tetraborat elde etmek için gereken enerji miktarı belirlenirken; disodyum tetraborat oluşumu esnasında meydana gelen reaksiyon ısısı önem arz etmektedir. Disodyum tetraborat oluşum reaksiyonu endotermiktir. Bir mol disodyum tetraborat elde edebilmek için gerekli olan enerji miktarı boraks pentahidratın($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) disodyum tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)'a indirgenme reaksiyonu kullanılarak hesaplanabilir. Bu reaksiyon aşağıda verilmiştir.



Bir mol disodyum tetraborat üretebilmek için gerekli reaksiyon ısısı;

$$\Delta H_R = \sum n(h_f + \Delta h_s)_\text{ç} - \sum n(h_f + \Delta h_s)_\text{g}$$

$$h = h_f + \Delta h_s ; \quad \Delta h_s = c_p \Delta T ; \quad c_p (\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 0,2 \text{ kJ/K.mol}$$

$$c_p(\text{H}_2\text{O}) = 36 \text{ kJ/K.mol (240}^\circ\text{C baca sıcaklığındaki değer)}$$

$$\Delta T(\text{H}_2\text{O}) = 240 - 35 = 205^\circ\text{C}$$

$$\Delta T(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 742,5 - 35 = 707,5^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{erime}} = 742,5^\circ\text{C (Disodyum tetraborat erime sıcaklığı)}$$

$$T_0 = 35^\circ\text{C (Ortam sıcaklığı)}$$

$$\Delta H_R = [(-3250,79) + (0,2 \times 707,5) + 5 \times (-241,6) + (36 \times 205)] - (-4779,83)$$

$$\Delta H_R = 7842,6 \text{ kJ/mol}$$

Çizelge 3.2. Reaksiyon ürünlerinin formasyon ısıları[14]

Fiziksel Özellik	Fiziksel Değer
Boraks Pentahidrat($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)(ΔH_f) Formasyon Entalpisi	-4779,83 kJ/mol
Disodyum Tetraborat($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)(ΔH_f) Formasyon Entalpisi	-3250,79 kJ/mol
Su buharı(H_2O)(ΔH_f) Formasyon Entalpisi	-241,6 kJ/mol

3.2.1. Çiğ noktası sıcaklığı

Çiğ noktası sıcaklığının hesaplanmasındaki amaç normal çalışma sıcaklığında fırında su yoğunlaşmasının olup olmadığının belirlenmesidir. Ürünlerdeki suyun kısmi basıncını hesaplamak için;

$$P_{H_2O} = x_{H_2O} P \quad ; \quad x_{H_2O} = 5/6 \quad ; \quad x_{H_2O} = 0,83$$

$P_{H_2O} = 0,083$ MPa bulunur. Doymuş buhar tablosundan;

$$T_{sat} = 94,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Fırın çalışma sıcaklığı ($793 \text{ } ^\circ\text{C}$) bu değerden çok yüksek olduğu için fırında su yoğunlaşması meydana gelmemektedir.

3.3. Yakıt Besleme Ünitesi

Disodyum tetraborat üretmek amacıyla tasarlanan fırında yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır.

Bu aşamada fırına beslenecek olan boraks pentahidrat miktarı belirlenerek reaksiyon için gerekli enerji ihtiyacı bulunacaktır. Bunun üzerine daha önce hesaplanan ısı kaybı da eklenerek toplam enerji ihtiyacı ve yakıt besleme miktarı belirlenecektir. Daha sonra doğalgaz yanma reaksiyonu yardımıyla doğalgazı yakmak için gerekli hava debisi hesaplanacaktır.

Fırın ergitme yatak ölçülerine ($x=135\text{cm}; y=7,6\text{cm}; z=41\text{cm}$) göre yatak hacmi $V_{yatak}=42066 \text{ cm}^3$ bulunur. $m = \rho \times V$ formülünde $\rho = 2,367 \text{ g/cm}^3$ disodyum tetraborat yoğunluğu için değerler yerine konursa $m_{ürün}=99,4 \text{ kg}$ olarak bulunur. Bu değer yatağı dolduran disodyum tetraborat miktarıdır. Boraks pentahidratın moleküler ağırlığı $291,326 \text{ gr/mol}$ kullanılarak yatağı dolduracak boraks pentahidrat miktarı $m_{beslenen}=144 \text{ kg}$, buradan $n_{beslenen}=494,3 \text{ mol}$

olarak bulunur. Saatte 494,3 mol boraks pentahidratı disodyum tetraborata indirgemek için gerekli enerji ihtiyacı $n \times \Delta H_R$ den $3,88 \times 10^6$ kJ olarak hesaplanmıştır.

Tüm yüzeylerden olan saatteki toplam ısı kayıp enerjisi ($313,2 \times 10^3$ kJ) ile disodyum tetraborat oluşumu için gereken reaksiyon enerjisinin ($3,88 \times 10^6$ kJ) toplamı fırın için gereken toplam enerji ihtiyacını vermektedir. Bu değer de $4,2 \times 10^6$ kJ'dür. Bu enerji gereksinimi kullanılarak fırın için gereken yakıt debisi belirlenmiştir. Fırında yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Eti Maden Kırka Bor İşletmesi fabrikalarında kullanılan doğalgazın alt ısı değeri 34488 kJ.h/m^3 tür. Buradan fırın için gereken yakıt miktarı $121,8 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak bulunur.

3.3.1. Doğalgaz brülörü

Doğalgaz brülörlerinin temel görevi yakıt ve havayı karıştırmak ve ateşlemektir. Disodyum tetraborat üretmek üzere tasarlanan fırın için yapılan hesaplamalar sonunda ısı kayıpları ve 144 kg/h boraks pentahidrat besleme debisi için $4,2 \times 10^6$ kJ enerji ihtiyacı olduğu saptanmıştır. Bu hesaplamalar ve işletme şartları göz önüne alındığında tasarlanan fırın için seçilen doğalgaz brülörü şu özelliklere sahiptir.



Resim 3.1. Fırın için seçilen doğalgaz brülörü

Resim 3.1 de görülen C 45S model birinci sınıf hava üflemleri ve iki kademeli olan doğalgaz brülörünün birinci kademesi 165 kW gücünde olup minimum kapasiteyi ifade etmektedir. İkinci kademe ise maksimum kapasite olan 525 kW'tır. Brülör çalışma esnasında maksimum ve minimum değerler arasında ayarlanabilmektedir. Brülörün her kW kapasitesi için 1,2 m³ taze hava gereklidir. C 45S doğalgaz brülörünün fan motoru 0,55 kJ/s gücünde, 220/380 Volt gerilimde 50 Hz frekans ve 2800 D/d ile çalışmaktadır[7].



Resim 3.2. Brülörün fırın üzerindeki görünümü

Resim 3.2 ile brülörün fırın üzerine montajı görülmektedir. Brülörün alev boyu maksimum kapasitede 1.10 m, minimum kapasitede ise 0,80 m olmaktadır[7]. Brülör konumu belirlenirken alev boyu ve özellikle alev alanı göz önünde bulundurulmuş eriyik ile teması olmayacak şekilde ergime alanının üst kısmına yerleştirilmiştir.

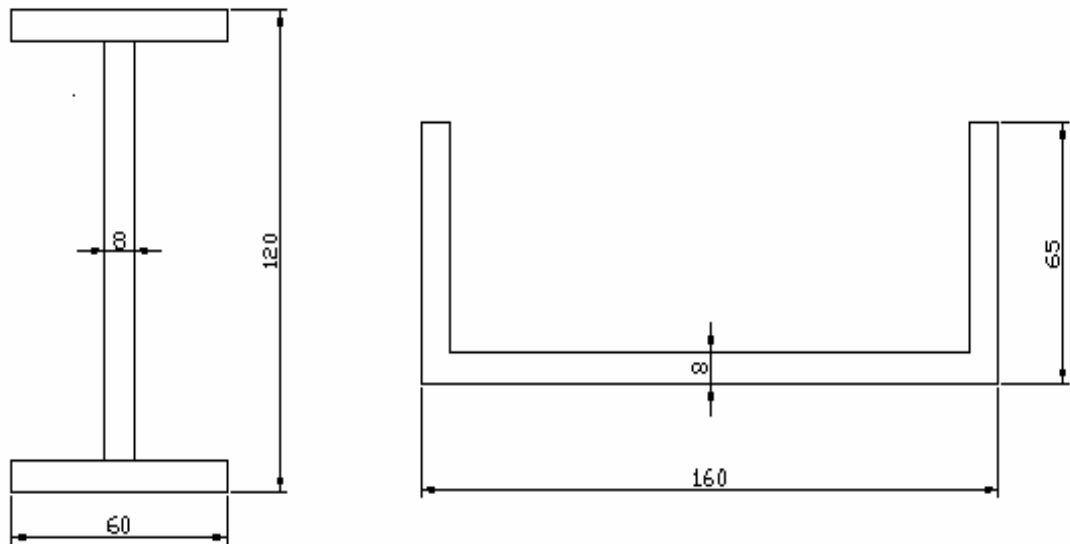
4. FIRIN TASARIMINDA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

4.1. Çelik Sac ve Profiller

Disodyum tetraborat üretimi için tasarlanıp imal edilen fırın konstrüksiyonu 160x65x8 ölçülerinde U demirinden yapılmıştır. U demirlerinin arasına 1000x2000x10 ölçülerinde çelik saclar kaynatılarak imalat sürdürülmüştür.

Fırının tavanı asma tavan olarak tasarlandığı için tavan tuğlalarının asılması için sfero döküm malzemeden asma aparatları tasarlanıp imalatı gerçekleştirilmiştir. Tavan tuğlaları bu asma aparatları ile 120x60x8 ölçülerinde I demirlerine takılmıştır.

Fırın konstrüksiyonu için kullanılan çelik saclar ve profiller St 37 çelik malzemeden üretilmiştir. Şekil 4.1 de Fırın konstrüksiyonunda kullanılan I ve U profillerin ölçüleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Fırın konstrüksiyonunda kullanılan I ve U profillerin ölçüleri

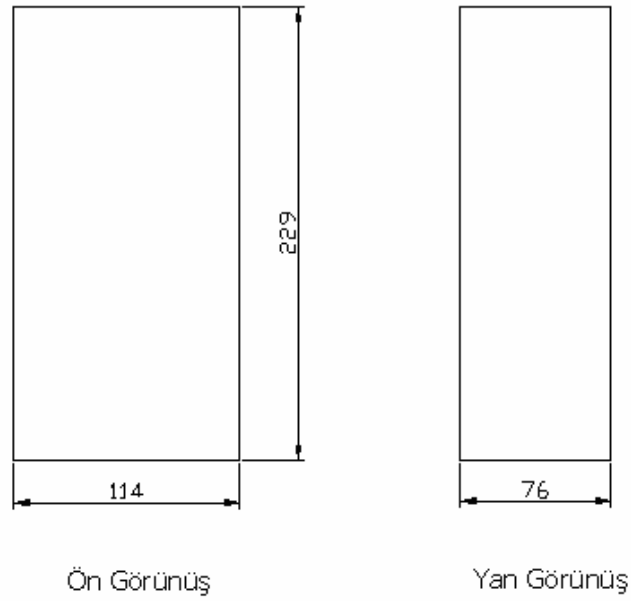
4.2. Fırın Örümünde Kullanılan Ateş Tuğlaları ve Asma Aparatları

Aşağıda teknik özellikleri verilen ateş tuğlaları disodyum tetraborat fırınının taban, yan duvarlar, arka duvar, asma çatı, köşe ve giriş ağız deliği kısımlarında kullanılmıştır. Bu tuğlalar Eti Maden Kırka Bor İşletmesi ambarında mevcuttur. Çizelge 4.1 fırın örümünde kullanılan ateş tuğlalarının teknik özelliklerini vermektedir.

Çizelge 4.1. Fırın örümünde kullanılan ateş tuğlalarının teknik özellikleri[4]

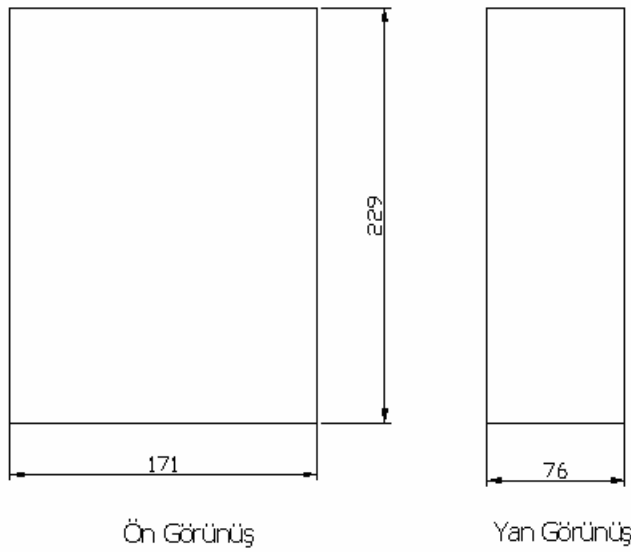
Fiziksel Özellik	Fiziksel Değer
Soğukta basma dayanımı (kgf/mm ²)	4,0
Sıcak yükle deformasyon (1350 ⁰ C)(mm)	1,0
Tekrar ısıtmada lineer değişme (1400 ⁰ C) (%)	-0,4
Kopma modülü (kgf/mm ²)	1,6
Görünür porozite (%)	11
Hacim Yoğunluğu (gr/cm ³)	2,50
Görünür Spesifik Ağırlık	2,60
Isı iletim katsayısı (1200 ⁰ C) (W/mK)	1,46

Geçmiş yıllarda Eti Maden Kırka Bor İşletmesi Susuz Boraks Üretim Tesisi için J. T. Thorpe(ABD) firmasından sipariş edilerek getirilen ateş tuğlaları işletme ambarında yeterli miktarda mevcuttur. Fırın imalatı gerçekleştirilirken varolan ateş tuğla ölçüleri dikkate alınmıştır. Şekil 4.2 de bu ölçüler belirtilmiştir.



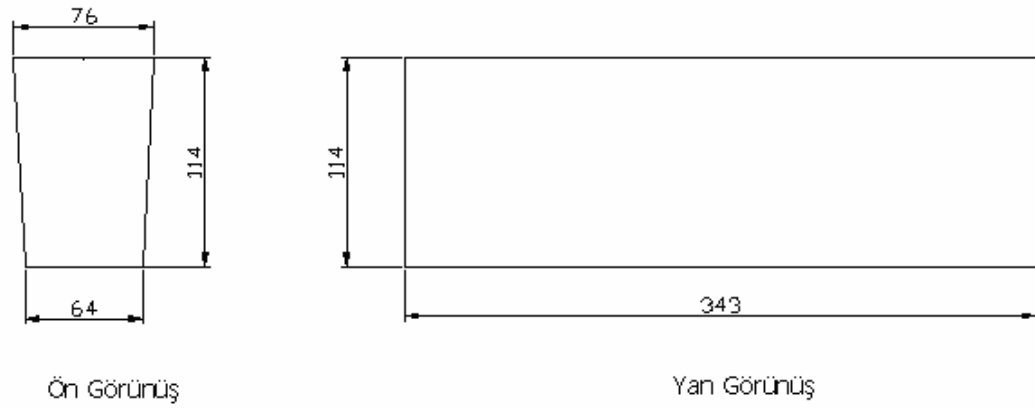
Şekil 4.2. Fırının yan duvarlarında kullanılan ateş tuğla ölçüleri

Fırın örümü sırasında fırın konstrüksiyonunda ihtiyaç olunan tuğlalardan taban ve köşelerde kullanılan tuğlalar yan yüzeyde kullanılan tuğlalara göre ebat olarak daha geniş olup Şekil 4.3 de bu ölçüler verilmiştir.

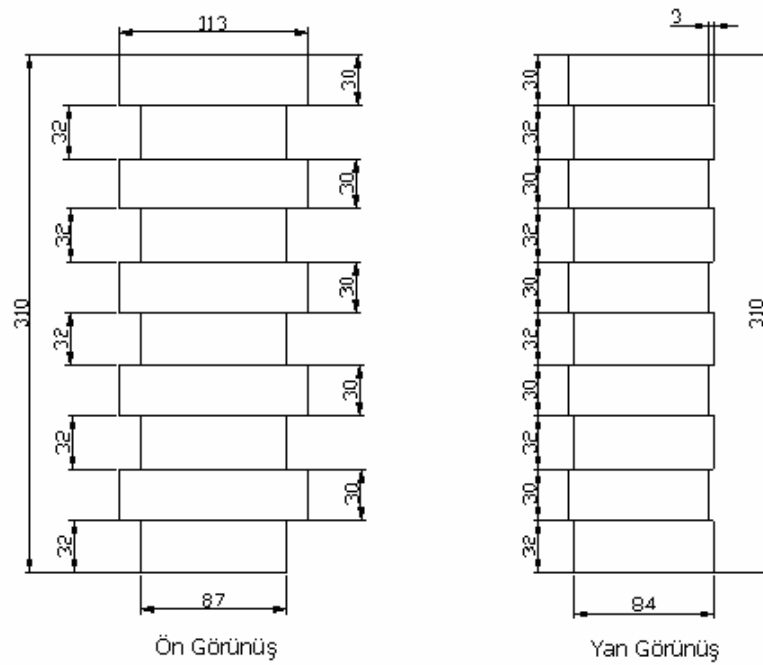


Şekil 4.3. Fırının taban ve köşelerinde kullanılan ateş tuğla ölçüleri

Fırında kullanılan doğalgaz brülörü şekil bakımından dairesel bir yapıya sahiptir. Fırın örümünde brülörün bulunduğu kısımda bu daireselliği sağlayabilmek için Şekil 4.4 de ölçüleri belirtilen kemer tuğlalardan faydalanmıştır.



Şekil 4.4. Fırının brülör çevresinin örümünde kullanılan ateş tuğla ölçüleri

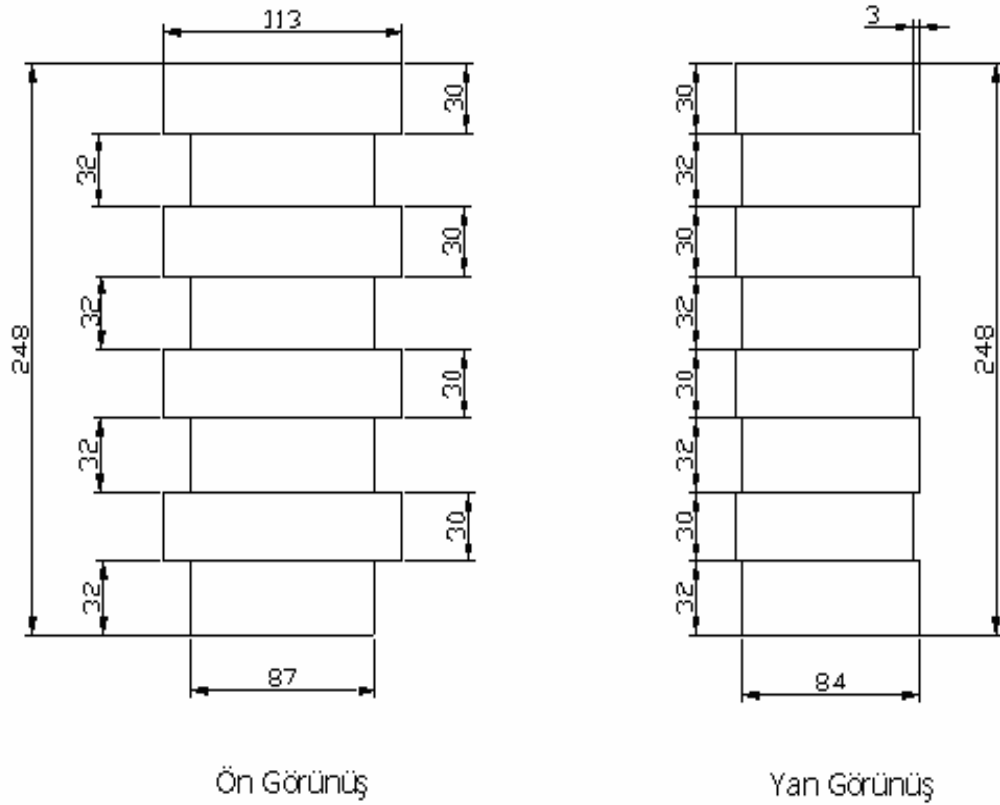


Şekil 4.5. Fırın asma tavanında kullanılan uzun ateş tuğlasının ölçüleri

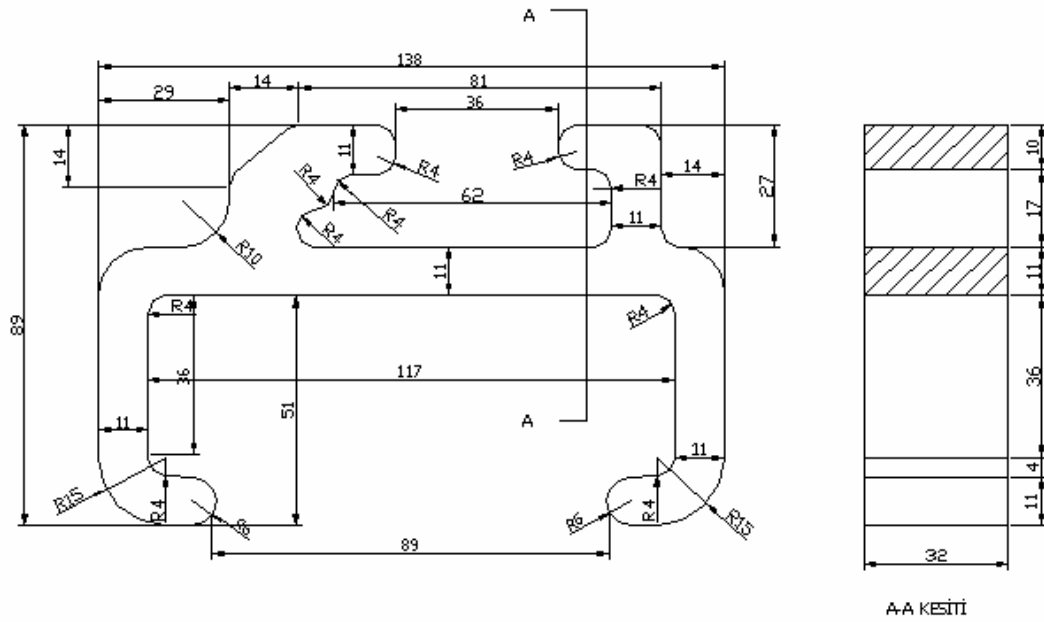
Disodyum tetraborat fırınının tavan kısmı asma tavan olarak tasarlanmıştır.

Şekil 4.5 de gösterilen fırın asma tavanında kullanılan uzun ateş tuğlaları Şekil 4.7 deki asma aparatlarına takılarak 120x60x8 ölçülerinde I demirlerine sıra sıra geçirilmiştir.

Asma tavan örümünde refrakter malzeme kullanılmamıştır. Tuğlaların birbirlerine olan bağlantıları Şekil 4.5 deki uzun ve Şekil 4.6 daki kısa tavan tuğlalarının birbirlerine girintili çıkıntılı olarak geçirilmesiyle oluşmuştur.



Şekil 4.6. Fırın asma tavanında kullanılan kısa ateş tuğlasının ölçüleri



Şekil 4.7. Fırın asma tavan aparatı ölçüleri

4.3. Fırın Örümünde Kullanılan Refrakter Malzemeler

Refrakter malzemeler, fırın örümü esnasında kullanılan harç malzemelerin tamamını ifade etmek için kullanılan bir terimdir.

4.3.1 Periklas harç

Fırın örümü sırasında ateş tuğlalarının aralarındaki bağlantıyı sağlamak amacıyla kullanılan harç malzemesi Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 de fiziksel ve kimyasal özellikleri verilen periklas harçtır. Bu değerler ve elde edilmesinde kullanılan metodlar periklas harcın satın alındığı Sörmaş Söğüt Refrakter Malzemeleri A. Ş. firmasından temin edilmiştir.

Periklas harcın karışım sıvısı sodyum silikattır($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$). Tuğlalar arasında bağlayıcı malzeme olarak harcın içersinde sodyum silikat kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Periklas harç içersinde kullanılan sodyum silikatın fiziksel ve kimyasal özellikleri(TS 4624 standardına göre yapılmıştır)

Fiziksel ve Kimyasal Özellik	Fiziksel ve Kimyasal Değer
Yapı	Nötral sıvı
Renk	Berrak
Molekül oranı	3,2-3,5
Sodyum Oksit (Na_2O) (%)	22,5-24
Silisyum Dioksit (SiO_2) (%)	75-76,5
Alüminyum Oksit (Al_2O_3) (%)	max. 0,4
Demir (3) Oksit (Fe_2O_3) (%)	max. 0,05
Kalsiyum Oksit (CaO) (%)	max. 0,05
Titanyum Dioksit (TiO_2) (%)	max. 0,03
Magnezyum Oksit (MgO) (%)	max. 0,01
Potasyum Oksit (K_2O) (%)	max. 0,01
Suda çözünemeyen madde (%)	max. 0,8
Konsantrasyon	38-40

Tuğla örümünde dikkat edilen önemli bir husus da tuğlaların arasına sürülen periklas harcın 0.5 mm den fazla olmamasıdır. Bu sayede tuğlalar arasındaki temas yüzeyi artarak yapının sağlamlığı arttırılmıştır.

Çizelge 4.3. Fırın örümünde kullanılan periklas harç malzemesinin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Fiziksel Değer
Tane iriliği (mm)	0-0,5
Nem(%)	0,1
Karışım sıvısı	Sodyum silikat
Stoklama ömrü	Süresiz

Çizelge 4.4. Fırın örümünde kullanılan periklas harç malzemesinin kimyasal özellikleri(Test metodu: BS 1902 : Section 9,1 : 1987 XRF metodu)

Kimyasal Özellik	Kimyasal Değer(%)
SiO ₂	1,1
Al ₂ O ₃	0,1
Fe ₂ O ₃	0,4
CaO	2,0
MgO	96

4.3.2. Dökme harcı

Dökme harcı fırın kapağı ve gözetleme deliği gibi ateş tuğlalarının kullanımının mümkün olmadığı yerlerde yüksek sıcaklığa dayanıklılık ve ısı yalıtımı sağlaması amacıyla kullanılmaktadır. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 da fiziksel ve kimyasal özellikleri verilen dökme harcının fırın imalatındaki uygulamaları Resim 4.3 ve Resim 4.4 de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Fırın örümünde kullanılan dökme harc malzemesinin fiziksel özellikleri(Test Metodu: BS 1902 : 403 : 1985 BS 1902 : 703 1987, BS EN 993 :10 : 1998)

Fiziksel Özellikler	Fiziksel Değer
Hacim ağırlık(g/cm ³)	2,34
Kırılma mukavemeti(N/mm ²)	87
Tane iriliği(mm)	0-6
Servis Sıcaklığı (°C)	1500
Tatbikat şekli	Vibrasyonlu veya vibrasyonsuz
Şekillendirme su miktarı (%)	8,3
Kırılma mukavemeti(1000 °C) (N/mm ²)	70
Kırılma mukavemeti(1300 °C) (N/mm ²)	88
Kalıcı boyut değişimi(1300 °C) %	+0,2

Çizelge 4.6. Fırın örümünde kullanılan dökme harc malzemesinin kimyasal özellikleri(Test metodu: BS 1902 : Section 9,1 : 1987 XRF metodu)

Kimyasal Özellikler	Kimyasal Değer(%)
SiO ₂	35
Al ₂ O ₃	58
TiO ₂	1,2
Fe ₂ O ₃	1,1
CaO	3,9
MgO	0,2



Resim 4.1. Fırın giriş kapağı

Resim 4.1 de gösterilen fırın giriş kapağı 10 mm lik çelik sacdan 600x500 mm ölçülerinde imal edilmiştir. Yan kısımlarına menteşeler kaynak edilmiştir. Dökme harcına desteklik sağlaması amacıyla tüm kapak yüzeyini kaplayacak şekilde demir çubuklar kaynatılmıştır.

Marangozhanede dökme harcının içine döküleceği tahta hazne oluşturulmuştur. Sodyum silikat ile hazırlanan dökme harç vibrasyonsuz olarak hazne içine boşaltılıp kurumaya terk edilmiştir. Kuruma yaklaşık bir hafta sonunda tamamlanmıştır.

Tüm bu işlemler Resim 4.2 deki fırın gözetleme delik kapağı için de uygulanmıştır. Aynı zamanda brülörün fırın içine uzanan alev çıkış ağzının çevresi de dökme harcı ile sıvanarak ısıdan etkilenmemesi amaçlanmıştır.



Resim 4.2. Fırın gözetleme delik kapağı

5. FIRIN İMALATI

Disodyum tetraborat üretmek üzere tasarlanan fırın dikdörtgen biçimindedir. Fırın konstrüksiyonunu U ve I profiller ile çelik saclar oluşturur.

U profiller 160x65x8 mm ölçülerinde olup tavan yüzeyi hariç fırının tüm iskeletini oluşturmaktadır. 1000x2000x10 mm ölçülerine sahip çelik saclar ise yine fırının tavan kısmı hariç tüm yüzeylerini oluşturmaktadır. 120x60x8 mm ölçülerindeki I profillerinin kullanım yerleri ise tavan tuğlalarının asma aparatlarıyla üzerine geçirildiği tavan yüzeyidir.

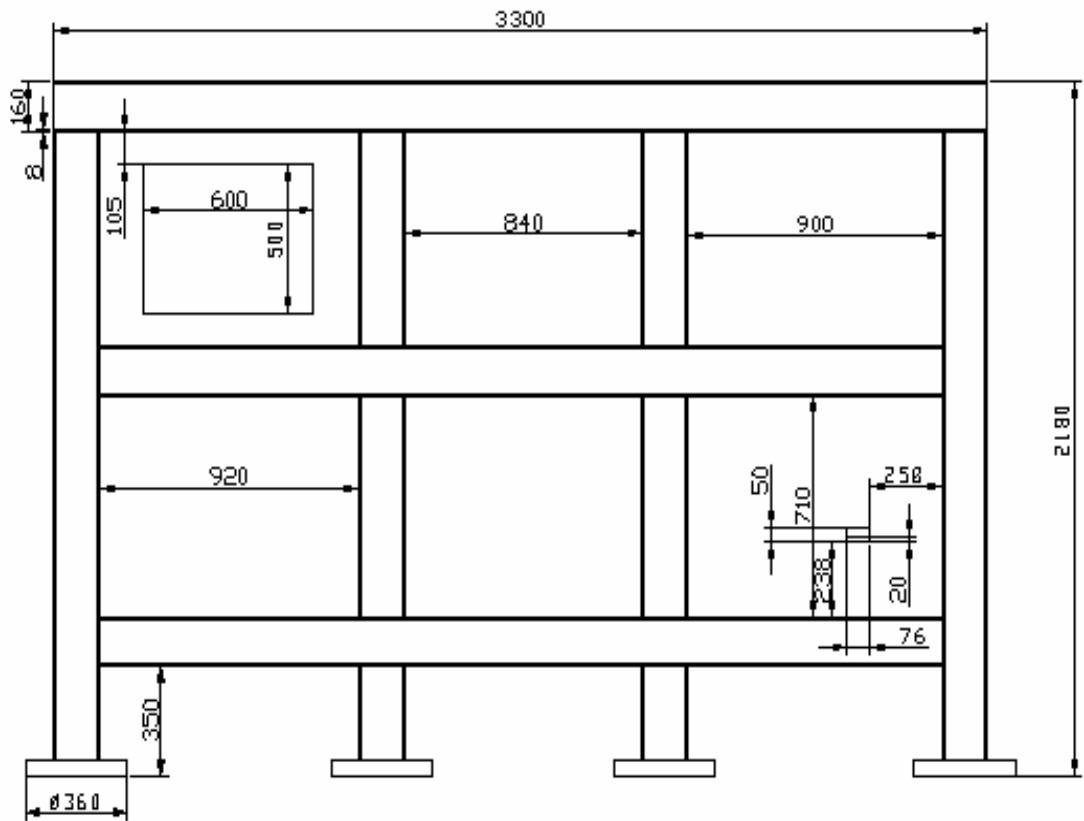
Fırın konstrüksiyon imalatına önce taban ve köşe kısımlardan başlanılmıştır. Köşeleri oluşturan dört adet U profili fırın yüksekliğince kesilerek ve uçları taşlanarak hazırlanmıştır.

Taban kısmına ait olan ve köşeleri oluşturan profillere kaynak edilecek uygun ölçülerdeki dört adet taban profili de aynı şekilde hazırlanmıştır. Daha sonra bu taban profilleri Şekil 5.1 deki gibi yerden 350 mm yükseklikteki mesafede köşe profillerine sırasıyla kaynak edilmişlerdir.

Taban iç kısmına eşit aralıklarla beş adet U profili yerleştirilmiş ve taban iskeleti güçlendirilmiştir. Ayrıca bu profillerin tam ortasına gelecek şekilde alt kısımlarına ayaklar kaynatılarak fırın ayak sayısı artırılmıştır. Bu şekilde fırının taban ve köşe iskeleti tamamlanmıştır.

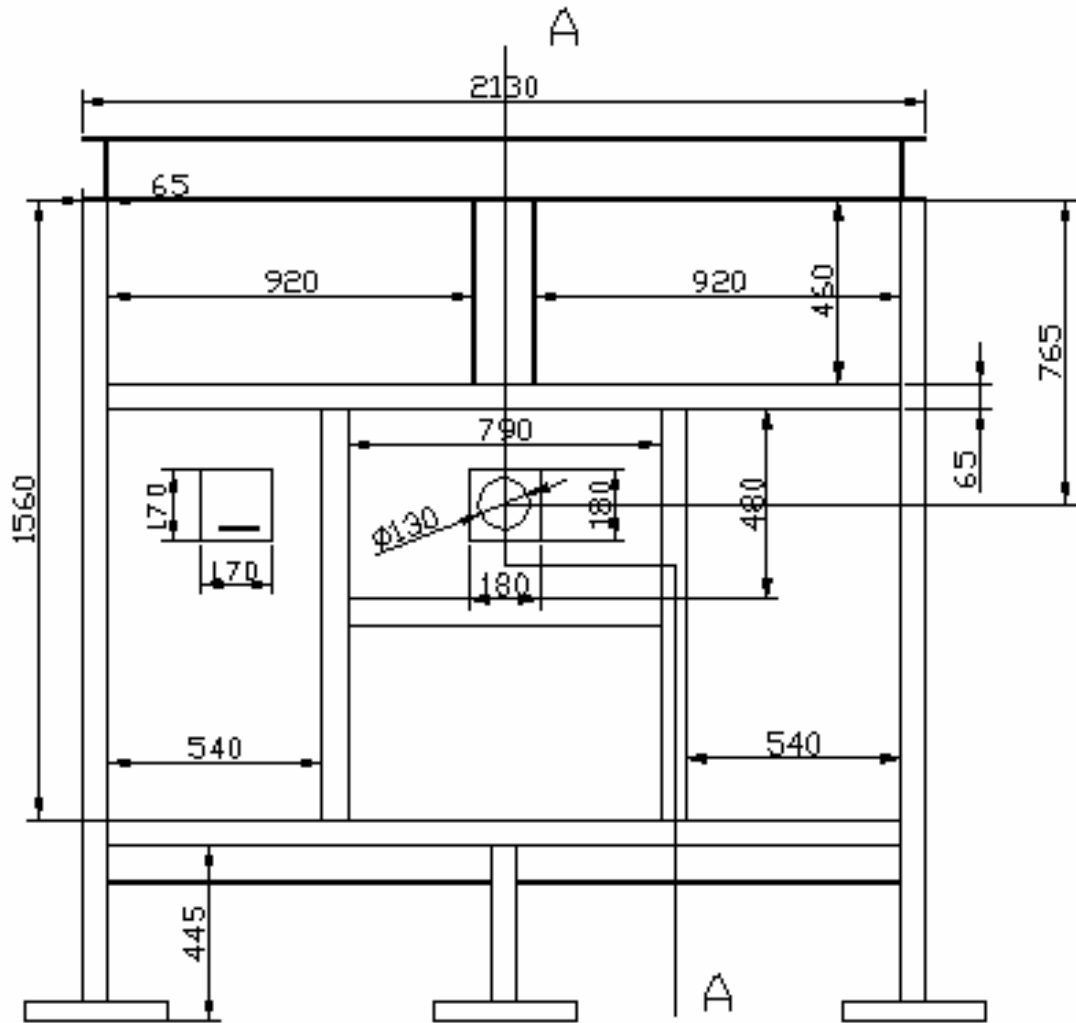
Daha sonra tavan, yan, ön ve arka yüzeylerdeki profillerin imalatına geçilmiştir. Bu kısımlarda önce yatay olarak yerleştirilecek profiller hazırlanmış ve yerleştirilmişlerdir. Dikey olarak yerleştirilecekler de hazırlanarak yatayların arasına eşit aralıklarla kaynatılmışlardır.

Şekil 5.1 den de görüldüğü üzere taban ve orta kısımda bulunan yatay profiller köşe profillerinin iç kısımlarına, tavan yatay profilleri ise köşe profillerinin üst kısmına gelecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Bu şekilde asma tavan hariç fırının dış iskeleti oluşmuştur. Asma tavan I profilleri fırın taban ve yan yüzeylerinin örülmesinden sonra tavan tuğlaları asılırken kullanılacaktır.



Şekil 5.1. Fırının yan yüzey görünümü

Dış iskeleti tamamlanan fırının bu aşamada taban, yan, ön ve arka yüzeylerine çelik sacların kaynatılması işlemi vardır. Önce taban yüzeyine uygun ölçülerde kesilen çelik saclar kaynatılmıştır. Daha sonra aynı işlemler yan, ön ve arka yüzeyler için de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2. Fırının ön yüzey görünümü

Fırının ön yüzeyine brülör yerleştirilecektir(Şekil 5.2). Bunun için brülörün yerleştirileceği kısım belirlenerek, brülörün alev çıkış ağzı kadar sac üzerinden delik açılmıştır. Brülörün flanş ölçülerine göre yerleştirileceği delik çevresine flanş yapılıp, dört adet civata takılmıştır. Daha sonra Resim 5.1 deki gibi alev çıkış ağzı yerleştirilmiştir.



Resim 5.1. Brülör yerleştirilen kısım ve gözetleme deliği

Brülörün hemen yan kısmına 170x170 mm ölçülerinde gözetleme deliği açılmıştır. Bu gözetleme deliği ölçülerinde kapak imal edilmiştir. Yine fırının yan yüzeyine Şekil 5.1 de görüldüğü gibi 600x500 mm ölçülerinde içine insan girebilecek şekilde bir delik açılmıştır. Bu delik ölçülerine uygun menteşeli bir kapak imal edilmiştir.

Her iki kapağa da inşaat demirinden çubuklar kaynatılarak çevrelerine tahtadan hazne yapılmıştır.

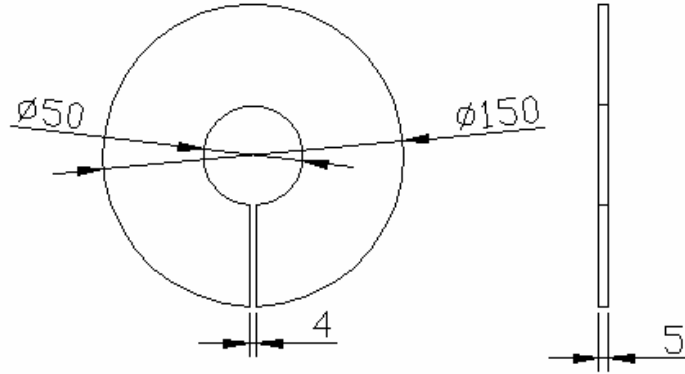
Sodyum silikat ile hazırlanan dökme harcı bu haznelere boşaltılarak kapaklar kurumaya bırakılmıştır. Bu işlemin yapılmasındaki amaç tuğlaların olmadığı kapak kısımlarında ısı yalıtımı ile homojen bir iç yapı elde etmek ve ısının direk olarak çelik saçlar ile temasını engellemektir. Fırının bu işlemlerin ardından boyaması yapılmıştır(Resim 5.2).



Resim 5.2. Fırının genel görünümü

Fırın besleme sistemi için helezon konveyör tasarımı yapılmıştır. Şekil 5.3 de gösterilen 5mm et kalınlığına sahip Cr-Ni alaşımlı çelik malzemeden 150 mm çapında parçalar kesilmiştir. Bu parçaların göbek kısmına 50 mm delikler açılarak Şekil 5.3 deki gibi 4 mm kalınlığında uca kadar kesimleri yapılmıştır. Bu parçalardan helezonun yaprakları imal edilmiştir.

C 45S model birinci sınıf hava üflemlili ve iki kademeli olan doğalgaz brülörünün birinci kademesi 165 kW gücünde olup minimum kapasiteyi ifade etmektedir. İkinci kademe ise maksimum kapasite olan 525 kW'tır. Brülör çalışma esnasında maksimum ve minimum değerler arasında ayarlanabilmektedir. Brülörün her kW kapasitesi için $1,2 \text{ m}^3$ taze hava gereklidir. C 45S doğalgaz brülörünün fan motoru 0,55 kJ/s gücünde, 220/380 Volt gerilimde 50 Hz frekans ve 2800 D/d ile çalışmaktadır[7].



Şekil 5.3. Helezon yaprağını oluşturan parçaların ölçüleri

Helezon yapraklarının düzgün bir şekilde yapılabilmesi için Resim 5.3 de görülen iki adet kalıp imal edilmiş ve yapraklar bu iki kalıp arasında preste basılarak her birinin aynı forma sahip olması sağlanmıştır.



Resim 5.3. Helezon yaprak kalıpları

Daha sonra bu yapraklar 50 mm çapında ve 2000 mm uzunluğundaki mile geçirilerek hem mil üzerine hem de birbirlerine kaynak edilmişlerdir(Resim 5.4).



Resim 5.4. Helezon konveyör mili ve yaprakları

Bu işlemlerin ardından helezon konveyör tornaya bağlanarak yaprakların en dış kısmından 1 ila 2 mm alınarak kaynak sırasında oluşan yaprak yüksekliklerindeki farklılık giderilmiştir. Helezon 155 mm çapındaki Cr-Ni alaşımlı çelik boruya geçirilerek yataklaması yapılmıştır. Borunun arka kısmı uygun ölçülerde flanş imal edilerek kapatılmıştır. Boraks pentahidratın besleneceği kısım kesilerek o kısma boru kaynatılmıştır. Boru üzerine klepe yapılmıştır. Klepenin görevi beslemeyi açmak, kapatmak ve debiyi ayarlamaktır. Klepenin üzerine de boraks pentahidratın bunkerden içinde boşaltılacağı bir hazne imal edilmiştir. Resim 5.5 de görülen silonun çıkış kısmına boru bağlantısı yapılarak konveyör haznesine kadar uzatılmıştır. Boraks pentahidrat beslemesi bu silodan boru bağlantısıyla konveyöre oradan da fırına yapılmaktadır. Besleme debisi(144 kg/h) üst katta bulunan ve siloya döküş yapan vidalı konveyörün devrinin ayarlanmasıyla elde edilmiştir. Her seferinde kronometre tutularak istenen besleme debisinde vidalı konveyör redüktör devri sabitlenmiştir.

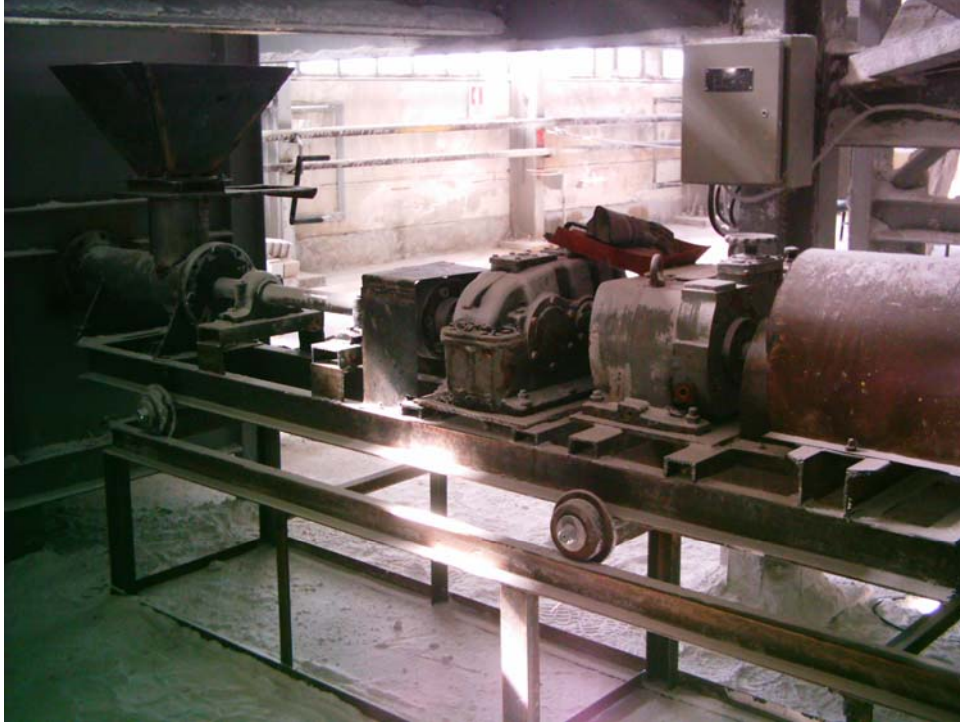


Resim 5.5. Besleme silosu

Helezon konveyör imalatı yapıldıktan sonra tahrik sisteminde kullanılacak redüktör, varyatör ve elektrik motoru belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak redüktörün gücü 75 Hp , giriş devri $n_{1max}= 1450$ D/d, çıkış devirleri $n_{2min}=22$ D/d, $n_{2max}=78$ D/d olarak belirtilmiştir. Varyatörün giriş devri $n_{1max}= 1450$ D/d , çıkış devirleri $n_{2min}=625$ D/d, $n_{2max}=2500$ D/d olarak belirtilmiştir. Sistemde kullanılan varyatörün üzerindeki kol yardımıyla fırın çalışma esnasında manuel olarak helezon devir ayarı yapılabilecektir. Bu ayarlanabilen helezon devir aralığı redüktörün ve varyatörün giriş ile çıkış devirlerine göre minimum 33 D/d ile maksimum 78 D/d olarak hesaplanır.

Resim 5.6 da gösterilen helezon konveyör kompleksinin disodyum tetraborat fırınına bağlantısında raylı bir şasi üzerine oturtulduğu görülmektedir. Bu sistem ile besleme sırasında herhangi bir tıkanıklığa karşı helezonun geriye çekilerek temizliğinin yapılabilmesi hedeflenmiştir. Helezonun fırına bağlantısı flanşlı bağlantıdır. Sistemdeki ekipmanlar raylı şasi üzerine Resim 5.6 da görüldüğü gibi U profillerle cıvatalı olarak bağlanmışlardır. Elektrik motoru ile

varyatör, varyatör ile redüktör ve redüktör ile helezon mili arasındaki güç iletimi kaplinlerle sağlanmaktadır.



Resim 5.6. Helezon konveyör kompleksi

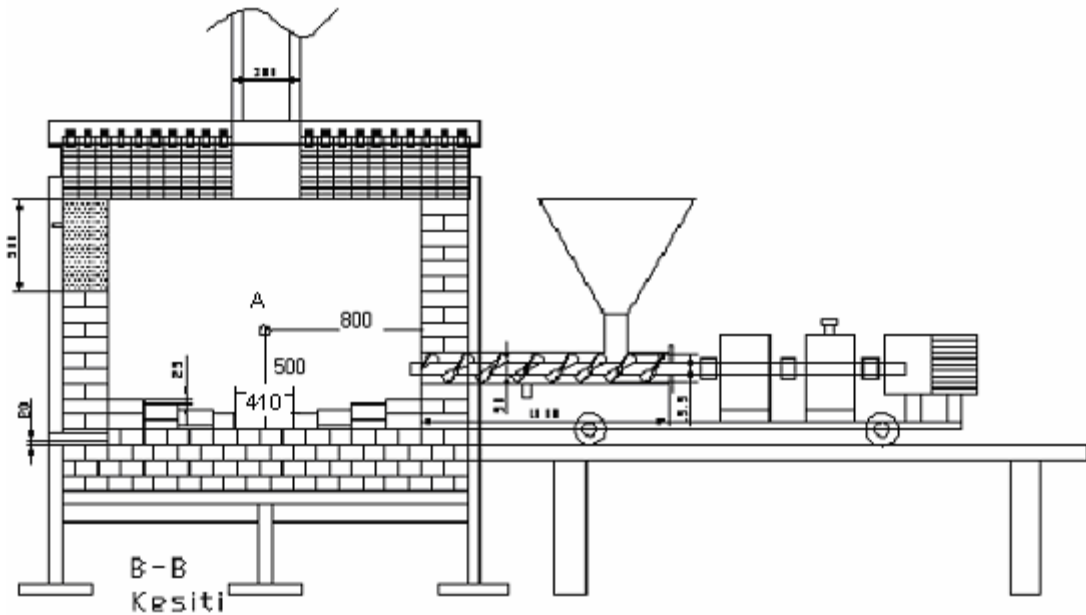
Helezon konveyörün fırın içersine giren uç kısmı Resim 5.7 de gösterilmiştir. Bu kısım boraks pentahidratın fırın içersine besleneceği kısımdır. Fırın içersinde çok fazla tozlaşma olmaması, beslenen tozun biran önce ergime bölgesine iletilmesi için helezon olabildiğince zemine yakın yerleştirilmiştir.



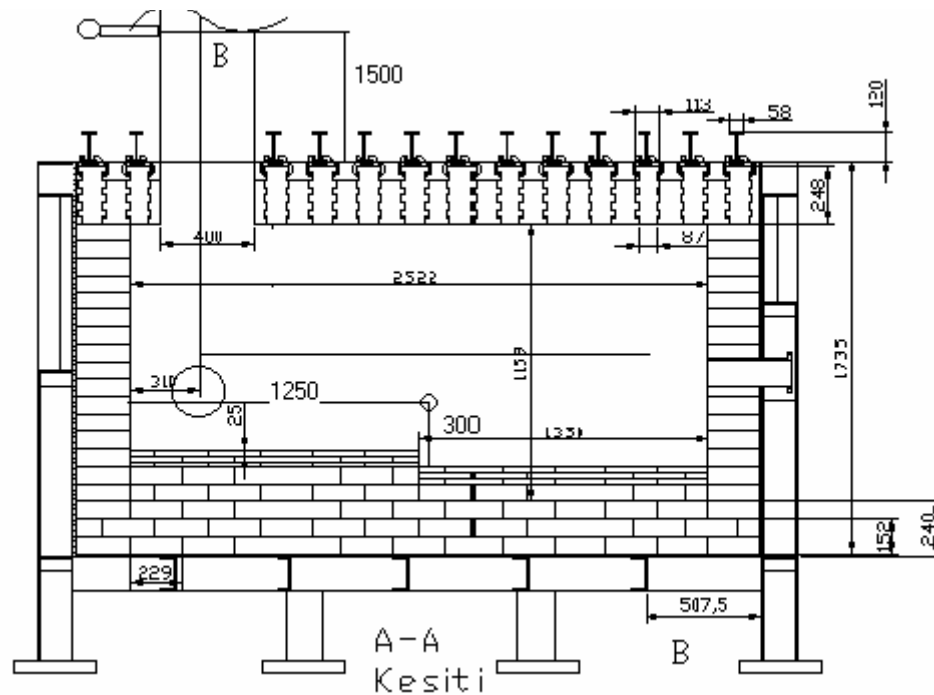
Resim 5.7. Helezon konveyörün fırına giren uç kısmı

Fırının örümüne taban yüzeyinden başlanılmıştır. 0-0,5 mm tane iriliğine sahip periklas harç sodyum silikat ile karıştırılarak harç hazırlanmıştır. Harç tuğlalar arasına 0,5 mm kalınlığı geçmeyecek şekilde sürülerek tuğlaların döşenmesine başlanmıştır. Şekil 5.4 deki gibi üç kat taban tuğlası örümü tamamlanmıştır. Bu aşamada Resim 5.8 de gösterilen akma ağzı üç sıra taban tuğlasının hemen bitiminde çalışma şartları da göz önünde bulundurularak yan yüzeye açılmıştır. Eni 76 mm, yüksekliği ise 100 mm olarak açılan akma ağzına 76 mm yüksekliğinde dökme harcından tümsek yapılmıştır. Bunun amacı fırın içersindeki ergitme alanında 76 mm yüksekliğinde bir eriyik havuzu oluşturmaktır. Havuzda oluşumunu tamamlayan disodyum tetraborat bu şekilde 76 mm yüksekliği aştıktan sonra akmaya başlayacaktır.

Taban örümünde her katın ardından tabana sodyum silikat ile daha çok sulandırılarak harç dökülmüştür. Mala ile tüm taban yüzeyinde gezdirilen harç ile tuğlalar arası tüm boşluklar doldurulmuştur. Ergime alanını oluşturmak için üç kat taban tuğlasından sonra fırının arka kısmından orta kısma kadar bir sıra tuğa örülmüştür.



Şekil 5.4. Fırının ön kısım kesit görünümü



Şekil 5.5. Fırının yan kısım kesit görünümü

Fırının yan yüzeylerinin örülmesinde klasik bina örümünde kullanılan teknik kullanılmıştır. Resim 5.8 de görüldüğü gibi ön yüzeyin örümünde brülör kısmında dökme harcı kullanılarak kemer tuğla uygulaması yapılmıştır. Normal tuğla örümünde tabanda olduğu gibi periklas harç kullanılmıştır. Akma ağız ve gözetleme deliğinin olduğu kısımlar yine Resim 5.6. da gösterilmiştir. Fırının yan yüzeyinde bulunan akış ağızına; hem arkadan öne doğru hem de yan kısımdan $0,1-0,2^{\circ}$ lik eğim verilmiştir. Bunun amacı eriyiğin akış ağızına doğru yollanmasını sağlamaktır.

Şekil 5.5 de fırının yan yüzeyinin kesit görünümü verilmektedir. Bacada bulunan termokuplun baca yüzeyinden yüksekliği 1500mm dir. Baca kare kesitli olup 400x400 mm ölçülerindedir. Helezon konveyör mili ekseninin arka duvara olan mesafesi 310 mm'dir. Yan duvar termokuplunun fırın zemininden ve arka duvardan olan mesafeleri ise Şekil 5.5 görüldüğü üzere 300mm ve 1250 mm'dir.



Resim 5.8. Fırın brülör, gözetleme deliği ve akış ağzının gösterimi

Disodyum tetraborat fırınının tavan kısmı asma tavan olarak tasarlanmıştır. Fırın asma tavanında kullanılan uzun ateş tuğlaları asma aparatlarına takılarak 120x60x8 ölçülerinde ve I demirlerine sıra sıra geçirilmiştir. Resim 5.9 fırın asma tavan tuğlalarının asma aparatları yardımıyla I demirine ve birbirlerine geçirilişini göstermektedir.



Resim 5.9. Fırın asma tavan örümü

Asma tavan örümünde tuğla aralarında refrakter malzeme kullanılmamıştır. Tuğlaların birbirlerine olan bağlantıları uzun ve kısa tavan tuğlalarının birbirlerine girintili çıkıntılı olarak geçirilmesiyle oluşmuştur. Ancak tavan örümü tamamlandıktan sonra üst kısma periklas harç karışımı dökülerek tuğla aralarına sızması sağlanmıştır Resim 5.10 da fırın tavanının üstten görünüşü gösterilmektedir.



Resim 5.10. Fırın tavanının üstten görünüşü

5.1. Toz Atomizasyon Ünitesi

Etimolojik olarak, bölünmez veya eksilmez anlamına gelen ve yunanca “atomos” kökünden türemiş olan atomizasyon, bir sıvı demetinin farklı boyutlardaki çok sayıda damlacıklara ayrılmasıdır. Bir sıvının atomizasyonunda temel prensip, sıvı demeti kararsız hale gelip parçalanıncaya kadar yüzey alanının artmasıdır[13].

Bütün metal tozları aynı teknik kullanılarak üretilemez. Atomizasyon metal tozlarının üretiminde etkin bir biçimde kullanılmakta olup; paslanmaz çelik,

pirinç, demir, alüminyum, çinko, kalay ve kurşun gibi metal ve alaşımlar için oldukça iyi sonuçlar verir. Atomizasyon su, gaz, santrifüj, vakum ve ultrasonik gaz atomizasyonu olmak üzere çeşitlere ayrılabilir[13].

Fırın için kullanılacak prensip gaz atomizasyon prensibidir. Demir dışı metallerle birlikte alüminyum alanına 1920'lerde giren gaz atomizasyonu, geleneksel ve hızlı katılaşmış tozların üretiminde en yaygın olarak kullanılan bir metottur. Atomizasyonda, gaz jeti üç fonksiyonu yerine getirir. Başlangıçta sıvı metal demetini kesip parçalamak için gerekli kinetik enerjiyi damlacıklara aktarır. Daha sonra damlacıkları gaz akışı içinde ivmelendirir ve son olarak uçuşma esnasında onların soğumasına sebep olur. Gaz jeti, hava veya azot, argon, karbondioksit ve helyum gibi asal gazlar olabilir[13].

Bir atomizasyon ünitesinde nozul, atomizasyon ortamının akışını kontrol eder ve onu istenen özelliklerdeki bir tozu üretmek için sıvı metalle temas ettirip, sıvı metalin parçacıklara ayrılmasını sağlar. Günümüzdeki nozulların çoğu patentlidir. Gaz atomizasyonunda kullanılan bazı nozul tipleri Mannesmann, Thompson, Naeser ve Probst tipi nozullardır. Disodyum tetraborat üretiminde kullanılacak olan nozul Mannesmann tipi nozuldur[13].

5.1.1. Mannesman tipi nozul tasarımı, denenmesi ve disodyum tetraborat akış hızının belirlenmesi

Geçmiş yıllarda, Kırka Bor İşletmesi'nde üretilen disodyum tetraborat soğuduktan sonra bir adet çeneli ve bir adet tokmaklı kırıcıdan geçiriliyordu. Sertlik değeri çok yüksek olan disodyum tetraborat zamanla özellikle çenelerde ve tokmaklarda ileri derecelerde aşınmalar meydana getiriyordu. Bu da çene ve tokmakların ömürlerinin kısılmasına neden oluyordu. Kırıcılardan istenen verim alınamıyor, arızalardan dolayı duruşlar artıyordu. Burada tasarımı yapıp imal edilen Mannesman tipi nozul ile disodyum tetraborat üretimi sonrası kırıcı kullanımını ortadan kaldırmak hedeflenmiştir.

Mannesman tipi nozulun çalışma prensibi; ergimiş malzeme orta kısımdan akarken, yanlardan verilecek olan hava ile malzemenin kesilerek ufak parçalara ayrılmasını sağlamaktır. Yan kısımlardan verilen hava debisi ve basınç değişimleri sayesinde istenen tane boyutunda malzeme elde edilebilmektedir.

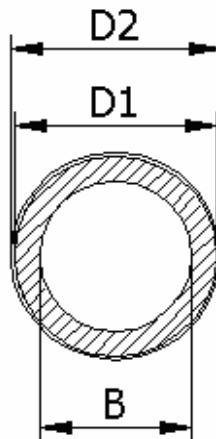
Fırın hacmi, besleme miktarı, ergime bölgesi ve eriyik akış hızı dikkate alınarak MN 30/15-12 kod numaralı nozul seçilmiştir.

Çizelge 5.1. MN 30/15-12 kod numaralı Mannesman tipi nozula ait büyüklükler

Nozul kodu	Nozul gaz çıkış açısı $\alpha(^{\circ})$	Nozul gaz çıkış alanı (mm ²)	Nozul eriyik çıkış ağzı (B) (mm)	Nozul gaz dolaşım çemberi çapı (mm)
MN 30/15-12	30	15	12	30,8

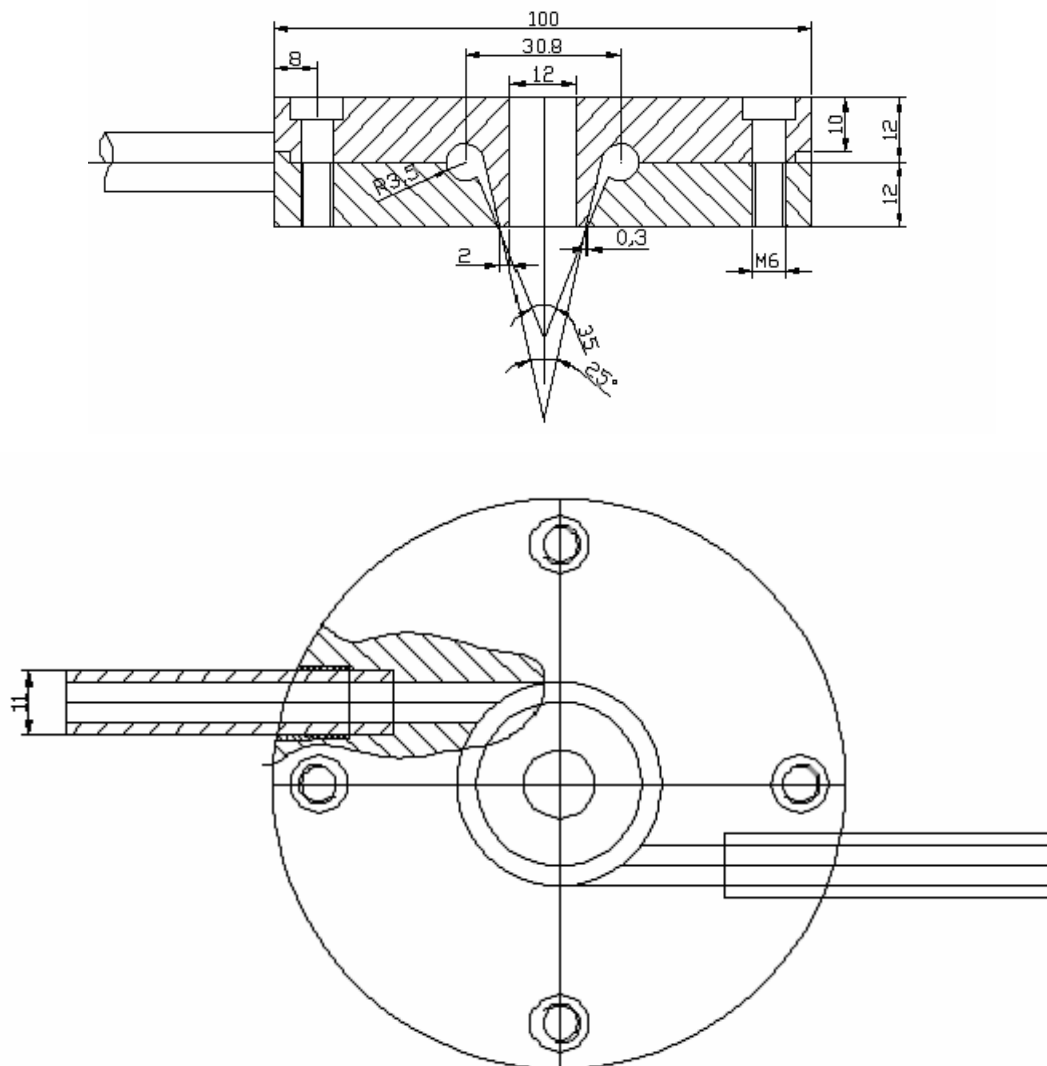
Burada gaz çıkış alanı yardımıyla gaz çıkış ölçüsü saptanmaktadır.

D1=16 mm



Şekil 5.6. Nozul hava ve eriyik çıkış ağzı

Çizelge 5.1 ve Şekil 5.6 daki ölçüler dikkate alınarak $D2 = 16.6$ mm bulunur.



Şekil 5.7. Mannesman tipi nozul[13]

Boraks pentahidrat ayrışma reaksiyonu kullanılarak, 144 kg/h boraks pentahidrat besleme debisine karşılık gelen disodyum tetraborat üretim debisi $mW_{\text{ürün}}=201,27$; $mW_{\text{besleme}}=291,35$ dikkate alınarak;

$$\dot{m}_{\text{ürün}} = \dot{m}_{\text{besleme}} \times \frac{mW_{\text{ürün}}}{mW_{\text{besleme}}} \quad \dot{m} = 144 \times \frac{201,27}{291,35} = 99,4 \text{ kg/h}$$

olarak hesaplanır.

Hesaplanan disodyum tetraborat üretim debisi ($\dot{m}_{\text{ürün}} = 99,4 \text{ kg / h}$) kullanılarak, ürün yoğunluğu $\rho = 2,367 \text{ g/cm}^3$ ve fırın ürün çıkış kesitine ($B = 12 \text{ mm}$) göre ($A = \pi B^2 / 4$) disodyum tetraborat akış hızı $\dot{m} = \rho \times V \times A$ formülünden $V = 14,4 \text{ cm/s}$ olarak bulunur.



Resim 5.11. Mannesman tipi nozulun üst ve alt kısımlarının görünümü



Resim 5.12. Mannesman tipi nozulun denenmesi

Resim 5.12 de görüldüğü gibi fırının çalışması esnasında oluşan disodyum tetraborat nozul içersinden geçirilerek tavalara alınmıştır. Ürünü kesmek için gerekli hava farklı basınçlarda şekildeki nozulun her iki tarafından verilmektedir.

Nozula verilen hava maksimum 3 bar minimum 0,1 bardır. 0,1-1 bar arasında malzeme yavaş, 1-1,5 bar arasında hızlı bir şekilde süne hareketi yaparak herhangi bir kopma göstermeden birbiri üzerine birikmiştir(Resim 5.13). 1,5-3 bar arası basınç uygulamalarında ise yine aynı uzamayı göstermiş, herhangi bir kopma görülememiş kısa bir süre sonra da tıkanmalar gözlenmiştir. Buna göre ürünün eriyik halde aşırı sünek oluşu kırılmaya engel oluşturmuş denemelerde istenen sonuç alınamamıştır.



Resim 5.13.Nozuldan geçen ürünün oluşturduğu yapı

5.2. Termokupl

Termokupllar iki farklı metal alaşımın uçlarının kaynaklanması ile elde edilen bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynatılan nokta sıcak nokta, açık kalan iki uç soğuk nokta olarak adlandırılır. Termokupl sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından oluşur. Sıcaklık farkına orantılı olarak soğuk nokta uçlarında mV değerlerinde gerilim üretilir. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır[8]. Termokupllar -200°C'den 2320°C'ye kadar çeşitli proseslerde yaygın olarak kullanılır.

Çizelge 5.2. NiCr-Ni(Nikelkrom-nikel) termokupl özellikleri[DIN 43710]

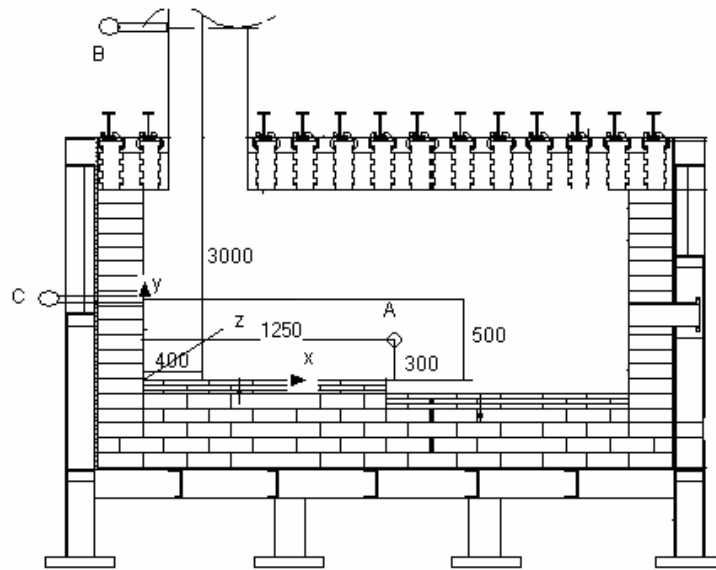
Fiziksel Özellik	Fiziksel Değer
Sıcaklık aralığı	-200°C +1200°C
Sürekli çalışma sıcaklığı(maksimum)	1000°C
NiCr eleman tel rengi	Kırmızı
Ni eleman tel rengi	Yeşil
Eleman tel çapı	2 mm
Metal kılıf	1.4841 DIN Paslanmaz (314 Kalite)

Termokupllar iki farklı metal veya alaşım tel olmasına rağmen endüstride genelde çıplak olarak kullanılmazlar. Prosesin şartları (mekanik darbeler, fiziksel ve kimyasal özellikler) göz önüne alınarak özel koruyucu kılıflar içinde kullanılır.

Disodyum tetraborat fırını için kullanılacak olan üç adet termokupl NiCr-Ni tip termokupldur. Bu termokupllar fırının yan yüzeyine, arka yüzeyine ve bacaya yerleştirilmiştir. Fırının taban yüzeyindeki eriyiğin sıcaklığı gözetleme deliğinden lazerli sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülecektir. Resim 5.14 fırın yan yüzeyine yerleştirilen NiCr-Ni termokuplu göstermektedir.



Resim 5.14. Fırın yan yüzeyine yerleştirilen NiCr-Ni termokupl



Şekil 5.8. Fırında kullanılan termokuplların koordinatları

Fırın sıcaklık ölçümleri için üç adet termokupl kullanılmıştır. Bu termokupllar A,B ve C termokuplları olup Şekil 5.8 de gösterilmektedir. A termokuplu (x,y,z) koordinatlarına göre (1250,300,1600) konumuna yerleştirilmiş olup o noktadaki yüzey sıcaklığını ölçmektedir. B termokupulunun konumu (400,3000,800) olup bacaya yerleştirilmiştir. C termokupulu ise (0,500,800) koordinatlarına sahiptir. Ölçüler mm olarak ifade edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fırının çalıştırılması 04.09.2006 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Bu ilk gün fırın tuğlalarının neminin alınması ve hızlı genleşme sonucu tuğlaların zarar görmemesi amacıyla fırının ısıtılması aşağıda Çizelge 6.1 de gösterildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.1. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık değerleri

Saat	Sıcaklık Değerleri (°C)		
	Yan Duvar	Arka Duvar	Baca
10:30	35	35	35
11:00	38	22	241
11:30	67	25	274
12:00	90	33	298
12:30	106	41	291
13:00	120	52	284
13:30	145	61	301
14:00	161	70	311
14:30	176	79	321
15:00	197	94	336
15:30	205	100	343
16:00	217	110	351
16:30	229	118	356
17:00	254	137	363
18:00	272	153	367
19:00	292	171	372
20:00	311	188	375
23:00	338	214	385

Saat 10:30 da çalıştırılan fırın yukarıdaki Çizelge 6.1 de gösterildiği üzere kurutma programına tabi tutulmuştur. Ara ara fırın kapağı açılarak fırın içersine bakılmış ve fırın tuğlalarının nemini atarak kendi üzerlerinden aktığı gözlenmiştir. Ayrıca bacadan da su buharı çıkışı görülmüştür. Saat 23:00 da tuğlalar üzerinden su akışının durduğu gözlenilmiş ve bu saat itibari ile fırın durdurulmuş ve kurutma programı tamamlanmıştır. İlk gün fırına boraks pentahidrat beslemesi yapılmamıştır.

Fırın 05.09.2006 günü 11:00 da yeniden ateşlenmiştir. Bu tarih itibariyle yapılan 1. deneyle ilgili değerler Çizelge 6.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık, besleme ve ürün alma değerleri (Deney 1)

Saat	Sıcaklık değerleri (°C)			Besleme kg/h	Ürün alma kg/h
	Yan duvar	Arka duvar	Baca		
11:00	35	35	35	0	0
11:30	85	54	210	0	0
12:00	198	121	285	0	0
12:30	291	158	361	0	0
13:00	382	189	434	0	0
13:30	455	221	487	72	0
14:00	489	291	529	72	0
14:30	519	300	541	72	0
15:00	540	303	519	72	0
15:30	562	309	452	72	0
16:00	617	338	383	72	0
16:30	624	353	301	72	80
17:00	638	385	229	72	80
17:30	637	383	235	0	80
18:00	638	385	232	0	0

05.09.2006 günü yukarıdaki Çizelge 6.2 de görüldüğü üzere, çalıştırılan disodyum tetraborat fırın sıcaklarının 04.09.2006 tarihli kurutma işlemindekine göre zamana bağlı olarak daha hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür.

Fırın besleme debisi daha önce de belirtildiği üzere fırın yatak hacmine göre hesaplanmıştır ve bu değer 144 kg/h tir. 05.09.2006 tarihinde saat 13:30 da fırına boraks pentahidrat beslemesine başlanmıştır. Boraks pentahidrat eriyerek yatak içersine akmaya başlamış ve burada eriyik yatağını oluşturmuştur. Nihayet beslemeye başlanılan saatten üç saat sonra saat 16:30 da ürün akışı yatak üzerinden çıkış ağzına başlamıştır. Akan ürün yapılan çelik tavaların içersine alınmıştır.

Her tavanın ağırlığı 12,5 kg dır. Ürün tavaları 3 dakikada doldurmaktadır ve dolu tavalar 20,5 kg gelmiştir. Saat 17:30 da besleme kesilmiş Ürün akışı 1,5 saat sürdükten sonra saat 18:00 da fırın brülörü söndürülmüştür. Deney sonunda 4 saatte 576 kg boraks pentahidrat beslenen fırından 1,5 saatte 240 kg disodyum tetraborat alınmıştır.

Ürünlerin molekül ağırlıkları göz önüne alındığında beslenen 576 kg'ın 178 kg'ı su buharı olarak atmosfere verilmiştir. Geriye kalan 398 kg'ın 99 kg'ı da yatak oluşumu için harcanmıştır. Geriye elde edilmesi gereken miktar 299 kg dır. 240 kg ürün alındığına göre 59 kg da kayıp mevcuttur. Bu kayıp yaklaşık %2,4'e karşılık gelmektedir.

Yapılan 1. deney sonucu elde edilen üründen iki farklı numune labaratuvar başmühendisliğine verilmiştir. Her iki numune de saat 18:00 de alınmıştır. Bu saat itibariyle numune alma sıcaklıkları Çizelge 6.2 de mevcuttur. Bu servisçe yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.3 de verilmiştir.



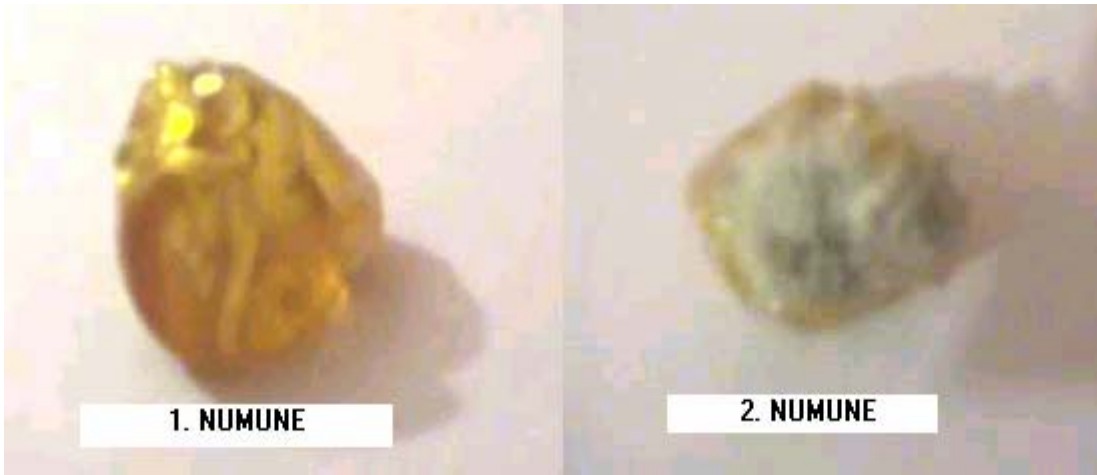
Resim 6.1. 1. Deney sonucu elde edilen ürün

Resim 6.1 birinci deneme sonucunda elde edilen ürünü göstermektedir. İlk çıkan 3-4 tava dışında ürünün fiziksel görünümü koyu sarı renginde camsı bir yapıdır.

Çizelge 6.3. 1. Deney sonucu üretilen üründen alınan iki numunenin kimyasal analiz sonuçları

	1. Numune(Camsı) (% ağırlık)	2. Numune(Mat) (% ağırlık)
B ₂ O ₃	68,24	59,79
SiO ₂	0,0996	0,100
Fe	377,00 ppm	610,00 ppm
Al ₂ O ₃	0,153	0,0679
CaO	0,0455	0,0446
MgO	0,0553	0,0549
Na ₂ O	30,38	26,61
Cl	46,10 ppm	36,40 ppm
SO ₄	400,37 ppm	390,22 ppm
Suda çözünmeyen	1430 ppm	1820 ppm

Titrasyon yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarına göre camsı olan bir numaralı numune disodyum tetraborattır. Çünkü disodyum tetraboratın içeriği B_2O_3 (% ağırlık) miktarı 68,24 Na_2O (% ağırlık) miktarı 30,38 dir. İki numaralı numune ise istenen değerleri sağlamamaktadır. Bunun nedeni fırın kararlı hale gelmeden ilk üretilen üründen alınması olabilir. Fırından alınan ilk 3-4 tava ürün sonrakilere göre daha mat görünümlü olmuştur.



Resim 6.2. Analizleri yapılan numuneler

09.09.2006 tarihinde ikinci deneme yapılmıştır. Bu deneme ile ilgili değerler Çizelge 6.4 de verilmiştir. Fırın brülörü saat 11:00 da ateşlenmiştir. Bu denemede ilkinde göre ürün alımı daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Sıcaklık değerlerindeki artış ilk denemeye göre daha fazladır. Fırın daha kısa sürede kararlı rejime girmiştir.

İlk denemede yatak oluşumu sağlandığı için bu denemede beslemeden 30 dakika sonra ürün çıkışı sağlanmıştır. 144 kg/h besleme debisine karşılık 96 kg/h ürün alma debisi tutturulmuştur. Su buharı kaybı göz önüne alındığında 144 kg/h beslemeye göre 99 kg/h ürün çıkışı olmalıydı. 144 kg/h için 3 kg/h yani %2,1 kayıp söz konusudur.

Çizelge 6.4. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık, besleme ve ürün alma değerleri (Deney 2)

Saat	Sıcaklık değerleri (°C)			Besleme kg/h	Ürün alma kg/h
	Yan duvar	Arka duvar	Baca		
11:00	35	35	35	0	0
11:30	110	62	171	0	0
12:00	234	130	227	0	0
12:30	337	171	292	0	0
13:00	412	199	334	0	0
13:30	495	221	347	72	0
14:00	553	291	338	72	48
14:30	611	340	341	72	48
15:00	643	375	319	72	48
15:30	655	399	292	0	48
16:00	660	401	290	0	0



Resim 6.3. 2. Deney sonucu elde edilen ürün

Resim 6.3 de gösterilen 2 nolu deneye ait numuneler fiziksel olarak 1 nolu deneydeki camsı numunelere benzemektedirler. Yalnız bu ürünlerin renkleri açık sarı olmuştur. Bunun nedeni kısa sürede eriyerek fırın içersinde uzun süre kalmadan elde edilmeleridir.

11.09.2006 tarihli üçüncü ve son denemede sıcaklık değerlerindeki artış (Çizelge 6.5) ikinci denemede ile çok yakın seyretmiştir. Yine 144 kg/h besleme için 96 kg/h ürün çıkışı olmuştur. Fakat farklı olan bir durum çıkan ürünün renginin ilk iki denemede olduğu gibi sarı olacağı düşünülse de beyaz ve açık yeşil renklerde oluşudur (Resim 6.4).

Çizelge 6.5. Zamana bağlı olarak fırın sıcaklık, besleme ve ürün alma değerleri (Deney 3)

Saat	Sıcaklık değerleri (°C)			Besleme kg/h	Ürün alma kg/h
	Yan duvar	Arka duvar	Baca		
11:00	35	35	35	0	0
11:30	124	85	211	0	0
12:00	261	162	253	0	0
12:30	383	202	322	0	0
13:00	459	255	359	72	0
13:30	535	279	364	72	48
14:00	593	301	353	72	48
14:30	641	343	330	72	48
15:00	653	371	317	0	48



Resim 6.4. 3. Deney sonucu elde edilen ürün

Disodyum tetraborat üretimi için tasarlanan, imalatı yapılan ve deneme çalışmaları tamamlanan prototip fırın istenen sonuca kısmen ulaşmıştır. Yapılan ilk deneme sonucunda elde edilen numunelerden alınan analiz sonuçlarına göre (%68,24 B_2O_3 ve %30,38 Na_2O) fırından disodyum tetraborat elde edilmiştir. Gerçekleştirilen üç denemede de fırının besleme sisteminde herhangi bir arıza meydana gelmemiştir. Krom-nikel alaşımlı vidalı konveyör besleme sistemi olarak başarılı olmuştur.

Bu projedeki fırın hacmine göre seçilen besleme debisi(144 kg/h) uygun bulunmuştur. Belirlenen besleme debisine göre ürün alma debisi(98 kg/h) değerleri tutturulmuştur. Beslenen ürün olan boraks pentahidratın ağırlık olarak kaybı %2,4 ün üzerine çıkmamıştır. Brülör kapasitesi(525 kW) yeterli olmuştur. Sıcaklık ölçüm cihaz olmadığı için eriyik sıcaklığı saptanamamıştır fakat arka duvardan içeriye uzatılan termokupul ile fırın yan sıcaklığı 655°C iken fırın iç sıcaklığı 793 °C olarak ölçülmüştür. Ürün alma sistemi oldukça yetersiz kalmıştır. İmal edilen tavalar çıkan ürünü yetiştirememekte, soğutma sistemi zamanında soğutamamaktadır. Ayrıca ürün tavalara yapışmaktadır.

Toz atomizasyon ünitesi çıkan malzemeyi değişik basınçlar altında (0.1-3 bar) kesmeyi başaramamıştır. Malzeme eriyik halde sünererek birbiri üzerine birikmiş çok yüksek basınçlarda da (1,5-3 bar) nozulda tıkanmalar meydana gelmiştir. Nozul için kesme mesafesi(350 mm) yeterli olmamakla birlikte ileriye dönük farklı tip ve boyutta nozullarla denemelerin devam etmesi düşünülmektedir.

Tüm bunlar göz önüne alınarak Eti Maden Kirka Bor İşletme Müdürlüğü'nce prototip fırın baz alınarak daha büyük boyutta bir fırın imalatına karar verilmiştir. Ayrıca asıl problemin fırından çıkan ürünü almakta olduğu saptanarak imal edilecek fırın için aynı zamanda soğutma tamburu, ürün alma bandı, kırıcı vs. tüm ekipmanların da sisteme dahil edilmesi kararlaştırılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Internet: Bor Ürünleri Hakkında Genel Bilgi. [http:// www.etimaden.gov.tr/tr/0_sayfa_ortakSayfa.asp?hangisayfa=4](http://www.etimaden.gov.tr/tr/0_sayfa_ortakSayfa.asp?hangisayfa=4) (2006).¹
2. Internet: Bor Kullanım Alanları. [http:// www.etimaden.gov.tr/tr/0sayfa_ortakSayfa.asp?hangisayfa=4](http://www.etimaden.gov.tr/tr/0sayfa_ortakSayfa.asp?hangisayfa=4) (2006).²
3. Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü Tesis Mühendislik Hizmetleri Dairesi Başkanlığı., “15.000t/yıl Kapasiteli Susuz Boraks Tesisi Projesi Fizibilite Etüdü”, **Eti Holding A.Ş. Raporu**, Ankara, 3-8 (2003).
4. Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletme Müdürlüğü., “Susuz Boraks Ergitme Fırını ile İlgili Teknik Bilgi ” , **Eti Holding A.Ş. Raporu**, Ankara, 1 (1996).
5. Incropera, F. P., Dewitt, D. P., “Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri”, Derbentli T., **Literatür Yayıncılık**, İstanbul, 22, 79-85 (2001)
6. Internet: Bor Madenciliğine Genel Bir Bakış. [http:// www. istanbul.-edu.tr/eng/maden/linkler/seminerler/bor.ppt\(2003\)](http://www.istanbul.edu.tr/eng/maden/linkler/seminerler/bor.ppt(2003)).³
7. Internet: Ürünlerle İlgili Kataloglar. [http:// www.gokce.com/Cuenod%20-Türkçe%20PDF/Cuenod%20C45-55-80-135.pdf](http://www.gokce.com/Cuenod%20-Türkçe%20PDF/Cuenod%20C45-55-80-135.pdf) (2006).⁴
8. Internet: Termokupl Genel Bilgileri. <http://www.ordel.com.tr/page.php?-ID=28> (2005).⁵
9. Kocakuşak S., Köroğlu J.H., Ekinci E., Tolun R., “Production of Anhydrous Borax Using Microwawe Heating” , **Industrial Engineering Chemical Resources**,. 34: 881-885 (1995).
10. Perry, John., “Chemical Engineers’ Handbook”, 4th ed. , **Mc Graw Hill** , New York, 3: 19-145 (1963).
11. Şahin Ö. ve Bulutçu A. N. “Dehydration Behaviour of Borax Pentahydrate to Anhydrous Borax by Multi-Stage Heating in a Fluidized”, **Turk J Chem**, 26: 89-96 (2002).
12. Şahin Ö. ve Bulutçu A. N., “Production of High Bulk Density Anhydrous Borax in Fluidized Bed Granulator”, **Chemical Engineering and Processing**, 41: 135-141 (2002).

13. Uslan I., “ Gaz Atomize Aluminyum Tozlarının Özelliklerine Üretim Değişikliklerinin Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 22-71(1999).
14. Weast R. C., “Handbook of Chemistry and Physics”, 49th ed. **Cranwood Parkway**, Cleveland, D: 38-46 (1968).

1, 2 Bor ürünleri hakkında genel bilgiler ve kullanım alanları Türkiye'deki tek bor madeni üreticisi konumundaki kurum olan Eti Maden İşletmeleri'nin internet sitesinden alınmıştır.

3 Yıllara göre bazı bor ürünlerine ait fiyatlar burada gösterilmektedir.

4 Prototip fırın için kullanılan brülöre ait teknik özellikler bu sitedeki katalogda belirtilmiştir.

5 Prototip fırında kullanılan termokupulların teknik özellikleri bu sitede gösterilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YEKSAN, Ertan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1981 İzmir
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (222) 681 22 00
 Faks : 0 (222) 681 22 02
 e-mail : ertanyeksan@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Dokuz Eylül Üniv./ Makine Müh. Bölümü	2003
Lise	İzmir Atatürk Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	Eti Maden İşletmeleri Müdürlüğü	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- YEKSAN, E., “Kompozit Malzemeden Burulma Yayı Üretimi, Gerilme ve Deformasyon Analizi” Bitirme Projesi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü**, İzmir, 2003.

Hobiler

Kitap okumak, basketbol, fotoğraf çekmek, seyahat etmek, müzik , sinema.